

TR

OM

PO

NE

Gestione del cantiere e promozione BIM
sul caso studio del restauro della copertura
del santuario del Trompone analizzando
l'impatto delle misure anticovid

Elio Canovi

Antonio mele



POLITECNICO DI TORINO

Collegio di Architettura
Corso di Laurea Magistrale in
Architettura Costruzione e Città

Tesi di Laurea Magistrale 2021

*Gestione del cantiere e promozione BIM sul caso studio
del restauro della copertura del santuario del Trompone
analizzando l'impatto delle misure anticovid*

Relatore:
Prof.ssa Anna Osello

Correlatore:
Ing. Fabio Manzone
Ing. Matteo Del Giudice

Candidati:
Elio Canovi
Antonio Mele

Abstract EN

This Thesis is born in response to the need of research and comprehension of the effects and the implications brought by the contemporary pandemic situation caused by COVID-19 in the Construction Industry, paying special attention regarding construction sites.

The research became reality using a study case identified in the restoration of the roof of the sanctuary in the complex of Trompone, in Moncrivello (VC), since, as the works began in February 2021, it offered the possibility of comparing the current emergency with that in "ordinary conditions", previously analyzed in the master's thesis of A. Mattia.

The survey was carried out from a BIM oriented perspective, through the development of a construction site management model using innovative techniques such as dynamic Clash Detection, and with the related economic analyzes.

Since this is a restoration project, funded by the CRT Foundation through the "Sanctuaries and Communities" project, which requires a crowdfunding action, in this thesis work the method of promoting the work aimed at collecting was also analyzed and developed of funds, using extended reality technologies.

Abstract IT

Il presente lavoro di tesi è nato a seguito dell'esigenza di indagare e comprendere gli effetti e le implicazioni derivanti dalla situazione pandemica contemporanea causata dal COVID-19 nell'industria delle costruzioni, facendo particolare attenzione ai cantieri.

La ricerca si è concretizzata avvalendosi di un caso studio identificato nel cantiere di restauro conservativo della copertura del santuario presso il complesso ospedaliero del Trompone a Moncrivello (VC), in quanto, essendo i lavori iniziati nel febbraio 2021, ha offerto la possibilità di comparare la situazione emergenziale attuale con quella in "condizioni ordinarie", precedentemente analizzata nella tesi magistrale di A. Mattia.

L'indagine è stata svolta in un'ottica *BIM oriented*, attraverso lo sviluppo di un modello di gestione del cantiere mediante l'impiego di tecniche innovative come *Clash Detection* dinamiche, e le relative analisi economiche.

Trattandosi di un progetto di restauro, finanziato da Fondazione CRT tramite il progetto "Santuari e Comunità", il quale richiede un'azione di crowdfunding, nel presente lavoro di tesi è stata anche analizzata e sviluppata la modalità di promozione dell'opera finalizzata alla raccolta fondi, attraverso l'utilizzo di tecnologie di realtà estesa.

Indice

0	INTRODUZIONE	14
0.1	Introduzione	17
0.1.1	Background	19
0.1.2	Obiettivi	22
0.1.3	Acquisizione dati	23
1	RICERCA	26
1.1	Building Information Modeling	28
1.1.1	Vantaggi	31
1.1.2	Interoperabilità	34
1.1.3	Industry Foundation Classes	37
1.1.4	LOD	40
1.1.5	Normativa	50

1.1.6 Dimensioni	55
1.2 Construction management	58
1.2.1 Gestione del progetto (4D)	60
1.2.2 Applicativi BIM (4D)	62
1.2.3 Quantity takeoff	66
1.2.4 Applicativi BIM (5D)	68
1.3 Classificazione	72
1.3.1 UNI 8290	74
1.3.2 UniClass	77
1.3.3 UniFormat II	79
1.3.4 OmniClass	80
1.3.5 MasterFormat	82
1.3.6 Comparazione	83
1.4 Comunicazione	86
1.4.1 XR - Extended Reality	92
2 CASO STUDIO	106
2.1 Storia del santuario	108
2.1.1 Apparizione mariana	110
2.1.2 Costruzione della rotonda	112
2.1.3 Costruzione del santuario	115

2.1.4 Il convento	116
2.1.5 Le chiusure del Trompone	117
2.1.6 Il seminario minore di Vercelli	119
2.1.7 I Silenziosi Operai della Croce	120
2.2 Il modello BIM del Trompone	124
2.2.1 Prime versioni	126
2.2.2 Versioni più recenti	128
2.3 Il cantiere di restauro	130
2.3.1 Organizzazione del cantiere	131
2.3.2 Cantiere e COVID - 19	134
3 METODOLOGIA	136
3.1 Modello federato	138
3.2 Workflow operativo	144
3.3 Impostazioni del modello federato	150
3.3.1 Suddivisione in fasi di costruzione	157
3.4 Codifica delle entità	164
3.4.1 Parametri di progetto e parametri condivisi	169
3.4.2 Creazione dei parametri condivisi	171

3.5 Definizione del modello - tassellazione	176
3.6 Interoperabilità tra software	180
3.6.1 Revit - Dynamo	182
3.6.2 MS Excel - MS Project	184
3.6.3 Synchro - MS Project	186
3.6.4 Synchro - Revit	188
3.6.5 PriMus IFC - Revit	190
4 RISULTATI OTTENUTI E TECNOLOGIE ADOTTATE	194
4.1 Modellazione 3D con Revit	196
4.1.1 Modello architettonico	198
4.1.2 Modello strutturale	204
4.1.3 Modello di cantiere	206
4.2 Assegnazione codici VLP con Dynamo	210
4.2.1 Codice posizione	212
4.2.2 Codice fase	219
4.2.3 Applicazione fasi	222
4.2.4 Codice tipologie	223
4.2.5 Codici composti	224
4.2.6 Altri codici	226
4.3 Compilazione codici con Excel	228

4.4 Cronoprogramma con MSProject	234
4.5 Sviluppi del modello 4D con Synchro Pro	240
4.5.1 Assegnazione delle risorse	242
4.5.2 Creazione degli "Appearance Profiles"	246
4.5.3 Utilizzo della Focused Time	248
4.5.4 Simulazione 4D di tutto il cantiere	250
4.5.5 3D Path	254
4.5.6 Dynamic Clash Detection	256
4.5.7 Simulazione 4D "avanzata" di una giornata tipo	260
4.6 Quantity takeoff con PrimMus IFC	262
4.7 Promozione del santuario	268
4.7.1 Tour virtuale del santuario	274
5 EPILOGO	276
5.1 Conclusione	278
5.1.1 Difficoltà	283
5.1.2 Sviluppi futuri	284

BIBLIOGRAFIA	286
Volumi	288
Tesi	289
Articoli	291
Siti	293
Normative	296
Altre fonti	297
FONTI FIGURE	300
RINGRAZIAMENTI	308

ALLEGATI

A - Tavole
A.1 - Layout di cantiere
A.2 - Pianta della copertura
A.3 - Prospetto est e sezione longitudinale
A.4 - Prospetto sud e sezioni trasversali
B - Abachi
C - Diagramma di Gantt
D - Script di Dynamo
E - Computo Metrico

0
I n t r
o d u z i
o n e

0.1

Introduzione

Questo lavoro di tesi si inserisce in un momento storico fortemente caratterizzato dalla pandemia da Covid-19 che, come tutti sappiamo, ha modificato il modo di vivere e di lavorare in tutto il mondo. Specialmente l'industria delle costruzioni ha dovuto adattarsi per trovare nuove soluzioni per continuare ad operare in modo migliore e sicuro, adottando opportuni cambiamenti sulla base dei vincoli e limiti. In merito, si sono viste introduzioni di normative atte a regolare lo svolgimento delle attività sui luoghi di lavoro, nello specifico nei cantieri, vedasi il *"Protocollo condiviso di regolazione delle misure per il contrasto e il contenimento della diffusione del virus Covid-19 nei cantieri edili"* siglato il 24 aprile 2020. Attraverso l'impiego di tecnologie BIM e attraverso l'analisi di un caso studio, identificato nel cantiere di restauro

conservativo della copertura del santuario del Trompone, a Moncrivello (VC), viene perseguito l'obiettivo di chiarire quali siano le implicazioni in termini di prolungamento delle tempistiche e in termini economici.

La ricerca vede l'analisi del cantiere in situazione ordinaria, come sviluppato nella tesi magistrale di Alessio Mattia, intitolata *"BIM per il Construction Management. Il cantiere studio: la copertura del Santuario del Trompone"*, e quella dell'effettivo cantiere reale con le adeguate restrizioni in merito alla sicurezza sanitaria, il quale ha visto l'inizio delle opere attorno a metà febbraio 2021. L'identificazione di un *workflow* operativo che vede l'impiego di differenti tecnologie BIM e di software specifici per il *Construction Management* ha portato allo sviluppo di un metodo di lavorazione e gestione

0.1.1 Background

del cantiere caratterizzato dalla scomposizione del sito in parcelle unitarie, tali per cui tutte le attività di cronoprogramma si ripetono modularmente.

Vista la partecipazione del santuario al progetto di Fondazione CRT "Santuari e Comunità" e la *partnership* del Politecnico di Torino, come partner culturale, in questo lavoro di tesi viene anche sviluppata la comunicazione dell'opera volta alla formazione e al consolidamento della comunità che gravita attorno al complesso. Tramite l'impiego di tecnologie tipiche della realtà virtuale e all'impiego dei *social network*, vengono messe in atto strategie a supporto della raccolta fondi richiesta dal bando di progetto citato in precedenza.

L'emergenza COVID-19 ha portato a valutare ed attuare, vista l'origine e la tipologia emergenziale, aspetti che, per la tipologia propria del mondo dell'edilizia, avevano ed hanno una marcata rilevanza, al fine di tutelare la salute e la sicurezza di tutte le persone coinvolte sia in cantiere che all'esterno dello stesso.

A seguito della diffusione della Pandemia da COVID-19, il 17 maggio 2020 è stato adottato il *"Protocollo condiviso di regolazione delle misure per il contrasto e il contenimento della diffusione del virus Covid-19 nei cantieri edili"* siglato il 24 aprile 2020, con l'obiettivo di illustrare una metodologia applicativa, presente nell'allegato 13.

L'obiettivo è quello di fornire indicazioni operative finalizzate a incrementare, nei cantieri edili, l'efficacia delle misure

precauzionali di contenimento adottate per contrastare la diffusione del COVID-19, con lo scopo di rendere il cantiere un luogo sicuro in cui i lavoratori possano svolgere le attività lavorative. Tali misure si estendono ai titolari del cantiere, ai coordinatori della sicurezza in fase di progettazione e di esecuzione e a tutti i subappaltatori e subfornitori presenti nel medesimo cantiere.

In concomitanza dello sviluppo del Protocollo condiviso per i cantieri edili, l'8 maggio 2020, la Giunta della Regione Piemonte ha emanato una delibera denominata *"Riavvio dei cantieri nell'ambito degli appalti pubblici di lavori. Approvazione linee di indirizzo per l'attuazione delle misure di sicurezza anti-Covid-19."* con l'intento, tra gli altri *"di stabilire che ai fini della corretta valutazione dei costi*

connessi e riflessi relativi all'attuazione delle misure anti Covid-19 con riferimento ai futuri cantieri, attuativi di nuove progettazioni riguardanti appalti in divenire, e tenendo conto delle istanze provenienti dagli operatori del settore, si attivino, nell'ambito delle lavorazioni di chiusura dell'edizione 2020 del Prezzario di riferimento per opere e lavori pubblici della Regione Piemonte, di prossima adozione, le opportune valutazioni tecniche al fine di adeguare le previsioni di costo in coerenza con le suddette linee di indirizzo". Valutazioni tecniche che vengono espresse all'articolo 3.6 "Riconoscimento maggiori costi" al comma C. Dove in merito ad un possibile riconoscimento per ridotta produttività legata alla situazione pandemica "[...] volendo fornire una indicazione immediatamente applicabile da parte della direzione lavori nella definizione degli importi

di modifica/variante contrattuale, si suggerisce l'applicazione di un incremento percentuale "secco" variabile in un range dal 3% al 6% sull'importo residuale dei lavori già appaltati ma ancora da eseguire".

Conseguentemente, queste valutazioni sono state riportate nel corpo del Prezzario della Regione Piemonte 2020, che le presenta all'articolo 2.2.11.2.3 "Eventuali maggiori costi per ridotta produttività", dove, al comma a, sono indicati gli incrementi da applicare nei casi dei cantieri in essere, suggerendo i valori percentuali indicati dalla D.G.R. n. 11-1330 del 8 maggio 2020, all'articolo 3.6, comma C. Mentre al comma b, in merito ai cantieri futuri, dell'articolo 2.2.11.2.3 del prezzario, nonostante è affermato che "[...] il riconoscimento potenziale della maggiore onerosità connessa alla

riduzione della produttività è ragionevolmente individuabile solo in alcuni specifici casi [...]", per attuare le previsioni della D.G.R. sopra citata, è indicato come sia stato effettuato un incremento nella misura del 5% per i costi di manodopera nelle lavorazioni che ne presentano un quadro di incidenza maggiore del 50%. Le voci maggiorate sono state selezionate in base alla maggior frequenza di intervento, escludendo in questo modo quelle di specializzazione con bassa frequenza di utilizzo, e appartengono alle sezioni:

- Sezione 01 – opere edili;
- Sezione 02 – Recupero edilizio;
- Sezione 07 – Acquedotti;
- Sezione 08 – Fognature;
- Sezione 25 – Grande viabilità.

La situazione legata al fattore pandemico COVID-19 ha favorito l'implementazione della digitalizzazione e del lavoro a distanza attraverso la tematica dell'uso del BIM, quale strumento a supporto del processo progettuale e costruttivo, mettendone in luce le potenzialità e la capacità di innovare un settore caratterizzato da processi di produzione e modelli di condivisione della conoscenza tradizionali. In quest'ottica, il focus della tesi è la progettazione e la gestione degli outputs del processo costruttivo, con la proposta di una metodologia di lavoro BIM-oriented al fine di delineare ed organizzare le attività delle lavorazioni e il processo costruttivo.

0.1.2 Obiettivi

L'obiettivo principe di questa tesi è quello di individuare degli indicatori validi a evidenziare le differenze tra i cantieri che si svolgono in situazioni ordinarie e quelli in situazione emergenziale sanitaria dovuta alla pandemia da Covid-19. Nel merito di questa indagine è risultato fondamentale analizzare le differenze per quanto riguarda l'aspetto cronologico e cronografico nonché quelle relative alle analisi economiche.

Al fine del raggiungimento degli obiettivi appena esposti è risultato opportuno sviluppare e progettare un metodo di gestione e analisi del mantenimento del distanziamento sociale, come indicato nel *"Protocollo condiviso di regolazione delle misure per il contrasto e il contenimento della diffusione del virus Covid-19 nei cantieri edili"*, attraverso l'impiego di tecnologie BIM.

Nell'ambito della partecipazione del santuario al progetto "Santuari e Comunità" di Fondazione CRT, l'obiettivo di questo lavoro di tesi è incentrato sulla promozione sociale e divulgazione culturale, attraverso l'impiego di tecnologie innovative di realtà estesa, in merito al caso studio, con l'intento di supportare e favorire una futura raccolta fondi da effettuarsi come indicato nel progetto di Fondazione CRT.

0.1.3 Acquisizione dati

L'acquisizione di dati per lo sviluppo di questo progetto di tesi è proceduta per differenti vie: mentre da una parte si presentava la possibilità di incominciare ad analizzare l'opera tramite la tesi *"BIM per il Construction Management Il cantiere studio: la copertura del Santuario del Trompone"*, realizzata da Alessio Mattia nell'a.a. 2019/2020, dall'altra parte, a causa della situazione sanitaria, la possibilità di effettuare sopralluoghi e di reperire documenti cartacei era remota.

In un primo momento della ricerca è stato possibile informarsi grazie al accesso alle **diverse tesi** caricate in internet relative al caso studio, delle quali quella sopra citata si è dimostrata fondamentale presentando ipotesi di gestione del medesimo cantiere oggetto di questo studio. Oltre alle informazioni testuali e fotografiche,

il modello BIM realizzato su Revit da parte di Alessio Mattia, libri, articoli scientifici e siti internet hanno costituito la raccolta dei dati necessari alla comprensione del contesto, inteso come sociale e normativo, e hanno fondato le basi della ricerca.

Solo con le prime interviste all'ingegnere Fabrizio Tabacchi, coordinatore per la sicurezza in fase di progettazione ed esecuzione del cantiere di restauro conservativo della copertura del santuario del Trompone, è stato possibile chiarire le idee sulle **condizioni reali** della struttura, sulle tipologie e le modalità di esecuzione dei lavori. Grazie all'ingegnere Tabacchi è stato possibile ricevere fotografie e documenti relativi al cantiere come il Piano di Sicurezza e Coordinamento, il regolamento inerente la gestione dell'ufficio di cantiere e le procedure di controllo, il fascicolo

dell'opera, il Computo Metrico Estimativo e i protocolli anti COVID-19 in cantiere. Documentazione che confrontata con quella prodotta da Mattia ha mostrato grandi differenze per quanto riguarda l'organizzazione del cantiere, dal layout alle tipologie di lavorazioni, e ha permesso di comprendere come strutturare il lavoro di tesi.

L'ultima settimana di aprile 2021 è stato possibile effettuare il **primo sopralluogo** nel cantiere, il quale seguito da altri, ha permesso di affinare la conoscenza del caso studio tramite interviste e acquisizione di materiale fotografico. Materiale fotografico che grazie all'aiuto dell'architetto Alice Colombo è stato possibile integrare con video e foto realizzate tramite drone, uno strumento che ha dimostrato notevoli vantaggi nella visita di un cantiere a diversi metri da terra. Grazie ai

contatti con gli attori coinvolti nel progetto di restauro è emersa la richiesta di sviluppare una raccolta fondi, espressa da parte di Fondazione CRT in "Santuari e Comunità", bando grazie al quale, con l'aiuto dell'8x1000 alla Chiesa Cattolica e a Fondazione CRV, è stato possibile ricevere le finanze necessarie all'esecuzione dei lavori. **Raccolta fondi** che ha comportato, con l'occasione dello sviluppo di questa tesi, lo studio relativo a chi indirizzare la richiesta e agli strumenti di comunicazione.

Per gli argomenti relativi alla raccolta fondi sulla fabbrica del santuario è stato possibile grazie all'architetto Francesca Brukk, entrare in possesso delle pagine social create congiuntamente con Chiara Cigliutti nello sviluppo della loro tesi comune, e accedere ai file nativi del **tour virtuale** del santuario che avevano sviluppato durante il loro lavoro.

1

R

i

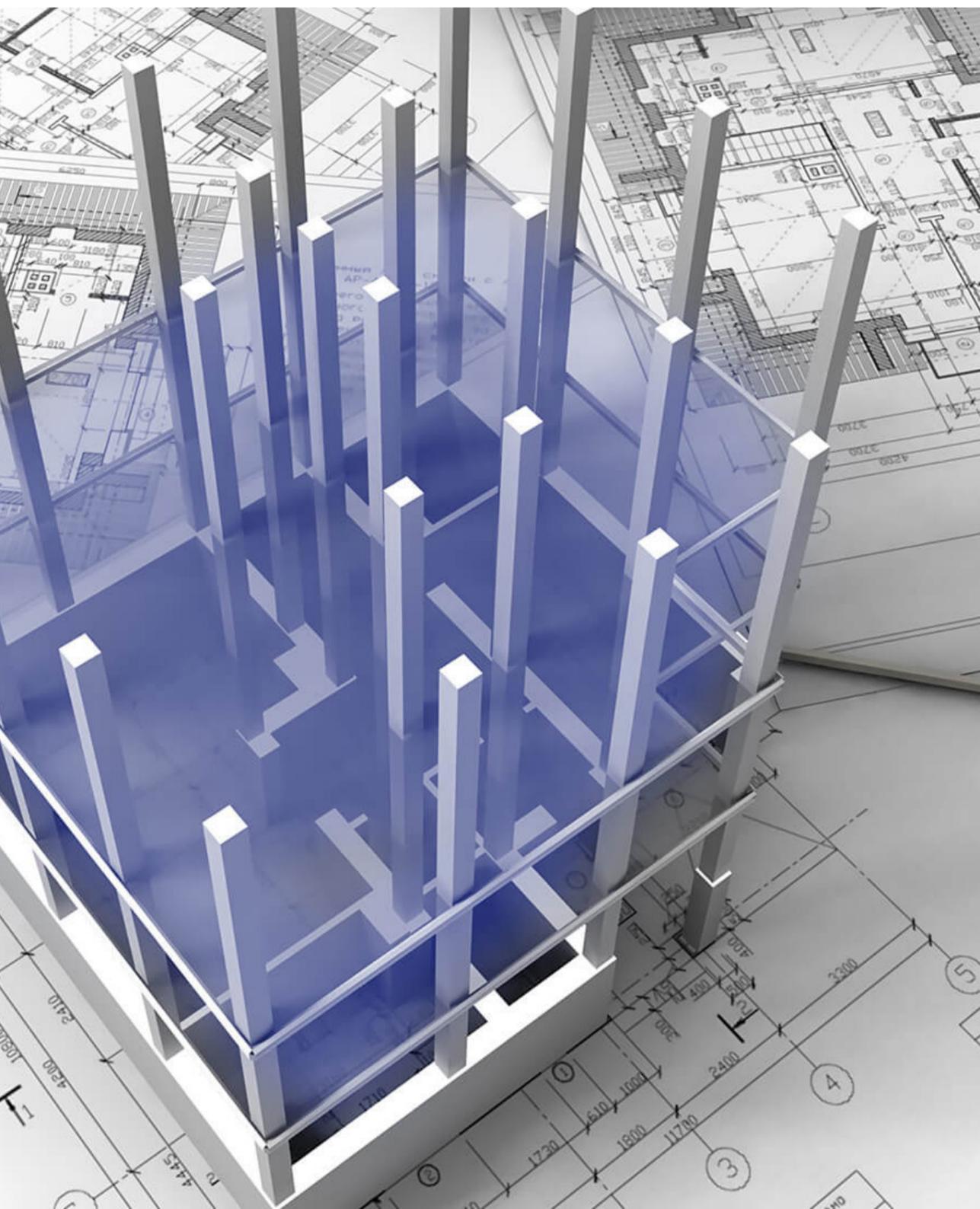
C

e

r

C

a



1.1

FIG. 1.1.a
BIM, dalla carta
alla tecnologia

Building Information Modeling

L'architettura, l'ingegneria e l'industria delle costruzioni si sono da sempre occupate dello sviluppo e implementazione di tecniche capaci di aumentare la produttività e la qualità del progetto, riducendo i tempi di consegna e i costi della progettazione stessa. Il *Building Information Modeling* (BIM), **processo olistico** per la creazione e gestione di una costruzione, si offre come potenziale mezzo per raggiungere tali obiettivi, per mezzo della simulazione del progetto in un ambiente virtuale. Con questa tecnologia, un accurato modello virtuale dell'edificio, conosciuto come *building information model*, viene digitalmente costruito. Quando completato

comprende la geometria precisa e i dati necessari al supporto della progettazione, dell'approvvigionamento, della costruzione e delle attività necessarie alla realizzazione dell'opera. Oltre che per la creazione stessa del progetto di costruzione, il modello BIM, presenta la sua utilità anche a conclusione dei lavori in quanto può essere adoperato per operazioni di manutenzione e di controllo dei sistemi tecnologici integrati nell'edificio [5].

BIM, inteso come *Building Information Modeling*, è un **metodo** di organizzazione, progettare e gestire una struttura, attraverso un modello tridimensionale che contiene

1.1.1 Vantaggi

molte altre informazioni oltre a quelle dimensionali. Questo tipo di modelli possono essere adottati durante tutto il ciclo di vita dell'opera, dall'idea iniziale fino alla dismissione dell'edificio. La possibilità di utilizzo risulta essere esponenzialmente incrementata grazie all'interoperabilità con vari software. L'interoperabilità permette la condivisione dei dati tra i vari attori operanti nella fase di progettazione, permettendo inoltre di gestire suddetti processi o in ambiti diversi e differenziati.

Il concetto di *"Digital twin"* (Gemello digitale) per la gestione incentrata sui dati di un sistema fisico, è emersa nella scorsa decade, nelle sfere legate alla manifattura, produzione e alle operazioni. I gemelli digitali vengono generalmente intesi come rappresentazioni digitali aggiornate delle proprietà fisiche e funzionali di un sistema che può essere uno strumento fisico, un costruito sociale, un sistema biologico, o un sistema composito; come un progetto di costruzione che contiene aspetti di un prodotto fisico e di un sistema sociale. Nel contesto dell'**Industria 4.0** i *"Digital twins"* rappresentano un passo nell'evoluzione della manifattura capace di facilitarne l'implementazione dei principi fondanti [33].

La lampante differenza che si identifica tra l'utilizzo dell'avanzata tecnologia BIM e la tradizionale tecnologia CAD è che ogni modifica effettuata al modello si riflette in ogni vista riducendo così le tempistiche di trascrizione e la presenza di errori. Il modello è composto da elementi tridimensionali quindi le viste di pianta, prospetto e sezione sono effettivamente ricavate da piani che tagliano l'edificio. Gli elementi presentano diversi livelli di dettaglio (LOD) ai quali è associato un diverso contenuto. In questo modo è possibile utilizzare lo stesso oggetto nelle differenti fasi di sviluppo di progetto senza la necessità di ridisegnarlo.

Per mezzo del metodo BIM è possibile modellare volumi semplici o delle forme organiche per effettuare primi ragionamenti

sulla forma dell'edificio per poi calcolare la cubatura, le superfici di pavimento, l'irraggiamento solare; e come ultimo, convertire le superfici in componenti dell'edificio. In questo modo il BIM risulta efficace anche a gestire le fasi concettuali inerenti al processo di progettazione. In aggiunta, la possibilità di creare un **modello digitale** in scala 1:1 dell'edificio favorisce la comunicazione tra tutti gli attori coinvolti nel progetto. L'integrazione con sistemi di realtà virtuale/aumentata ne amplifica maggiormente questo aspetto.

Alla base del modello BIM vi sono i componenti parametrici, classificati, in Revit, come famiglie. Elementi bi- o tri-dimensionali semplici da editare e che non necessitano di alcuna conoscenza di programmazione, ma vengono

disegnati in un ambiente digitale specifico nel quale si definiscono le caratteristiche formali e informative dell'oggetto. Sono modificabili e incrementabili in qualsiasi momento. La componente informativa 3D degli oggetti permette la **clash detection** (il controllo delle interferenze). Questa funzione è possibile su diversi software BIM, non solo identificando e riportando in file di riepilogo tramite immagini le interferenze tridimensionali, ma anche quelle determinate da aree di competenza delle componenti dell'edificio.

Fino ad ora sono stati elencati vantaggi che derivano dalla "M" di *Model* ma particolare attenzione è da porre sulla "I" di *Information* poiché il modello è un vero e proprio database relativo al *Building "B"*. Sono raccolte, ad esempio, tutte le informazioni relative ai materiali che compongono un elemento. In questo modo non solo vi è una distinzione tra un muro in mattoni da 12 centimetri da uno dello stesso spessore in calcestruzzo, ma è anche possibile anche valutare le proprietà fisiche del pacchetto e leggere le caratteristiche in qualsiasi momento. Essendo possibile associare diverse **informazioni** agli oggetti è possibile estrarre le loro dimensioni e associare prezzi in modo da determinare i costi nel corso dello sviluppo del progetto [30] e visualizzare queste informazioni in viste specifiche (abachi in Revit). Inoltre, è possibile gestire il fattore temporale, la quarta

dimensione del BIM, associando fase di costruzione e di demolizione degli elementi e creare viste tematiche, come quella delle demolizioni e costruzioni. In questo modo si può gestire l'intero ciclo di vita dell'edificio fin dalle considerazioni sullo stato di fatto per lo sviluppo del progetto, fino alla progettazione della dismissione [5].



FIG. 1.1.1.a
Schema dei vantaggi offerti mediante l'uso del metodo BIM

1.1.2 Interoperabilità

FIG. 1.1.2.a
Nella pagina accanto.
Differenze tra la
metodologia tradizionale
e la metodologia BIM
per quanto riguarda lo
scambio dei dati

Il requisito essenziale che è alla base della metodologia di progettazione e modellazione BIM, a livello informatico, è **l'interoperabilità**, ossia la possibilità di condividere e scambiare le informazioni tra i diversi attori coinvolti nel processo edilizio senza perdita di dati, in modo tale da avere un'ottimizzazione del processo stesso grazie all'utilizzo di specifiche piattaforme software e formati standard accessibili a tutti gli attori da un unico database.

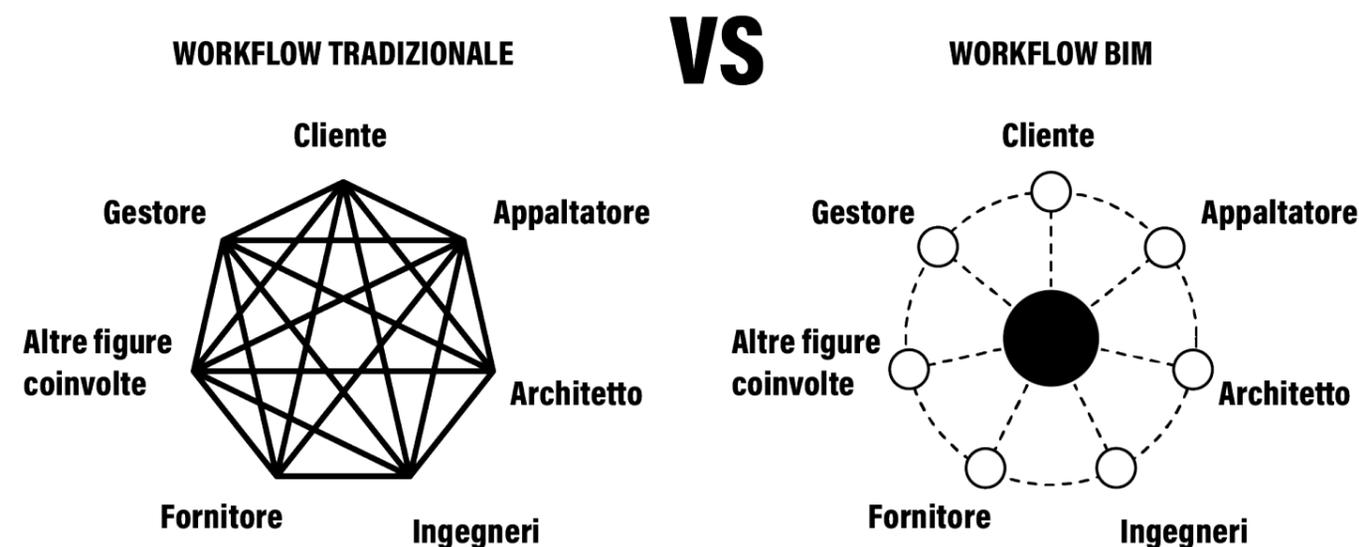
Con l'interoperabilità è di fatto possibile:

- Ottimizzare la fase decisionale;
- Evitare blocchi temporali e progettuali causati da software e l'adozione di formati diversi.

Tale strumento di cooperazione permette effettivamente di impiegare il **BIM** (*building information modelling*) come metodologia di modellazione e non solo come modello 3D parametrico (*building information model*) [7], offrendo la possibilità di gestione digitale dell'informazione con conseguenti benefici in termini di efficienza e costi nell'ambito della progettazione. Importante sottolineare che la possibilità di **condivisione** non riguarda unicamente la fase di realizzazione, bensì anche l'intero ciclo di vita dell'opera, includendo quindi manutenzione e dismissione finale.

Esistono 2 differenti tipologie di interoperabilità [22]:

- **Orizzontale**, ove il passaggio del modello e



delle informazioni in esso contenute avviene tra 2 software parametrici analoghi (Revit, Archicad, Allplan, Bentley, ecc.);

- **Verticale**, quando il passaggio del modello e delle informazioni avviene tra software complementari tra di loro; come quelli per la renderizzazione, i calcoli strutturali, le simulazioni 4D, le analisi energetiche e i piani di manutenzione (3DS max, Synchro Pro, Ecotect, Edilclima, Diva, Mantus, Primus, ecc.).

Precedentemente all'adozione della metodologia BIM e dei relativi software, le informazioni legate alla progettazione e alla costruzione venivano governate direttamente dal professionista, senza la possibilità di uno scambio diretto e immediato tra due software.

Solo con l'avvento del BIM il concetto di interoperabilità è entrato a far parte del mondo dell'edilizia e delle costruzioni.

Per mezzo dell'ausilio dello schema presente (FIG.1.1.2.a), è possibile identificare graficamente la differenza che intercorre fra il metodo tradizionale di scambio di informazioni ed il metodo BIM, modello verso cui si sta cercando adottare al giorno d'oggi.

È evidente come la metodologia tradizionale consista nell'utilizzo di software diversi, in base al tipo di lavoro da svolgere da parte dei singoli studi o professionisti. Ognuno di essi dunque deve salvare e trasferire il proprio lavoro in un determinato tipo di formato che è diverso da quello degli altri, costringendo quindi l'acquisto di più software anche solo per

la lettura dei file. Questo comporta una fitta **"ragnatela" di connessioni** tra formati diversi che porta ad un aumento di costi e tempi di progettazione. Oggigiorno invece, i software che sono alla base del flusso di lavoro BIM contengono tutte le informazioni di progetto e consentono un'ottimizzazione e velocizzazione del processo progettuale in termini di tempo e costi per mezzo dello scambio diretto e accurato dei dati effettuato mediante formati standard in grado di preservare i dati originali senza alcun rischio di perdita.

1.1.3 Industry Foundation Classes

Come già sottolineato, il metodo tradizionale, senza l'uso del modello BIM, costringe i professionisti che collaborano su un progetto unico ad effettuare proposte e richieste di modifica di parti di esso, scambiandosi l'interno modello con annesso un set di dati in massa esportati in vari formati diversi, ad esempio: **PDF** (*Portable Document Format*), **DWG** (*Drawing format*), **DWF** (*Design Web Format*), **DXF** (*Drawing eXchange Format*), **ODBC** (*Open DataBase Connectivity*), **IGES** (*Initial Graphic Exchange Specification*), **3DS** e **OBJ**, e tanti altri. Ognuno di questi formati ha una definizione specifica e include o esclude informazioni differenti nel modello o file. Questa pluralità di formati comporta quindi delle complicazioni in quanto, come già ampiamente descritto, presenta una sostanziale perdita di dati e dilatazione di tempistiche e costi

aggiuntivi. Per evitare ciò, la metodologia BIM ha richiesto l'inevitabile esigenza di affidare la trasmissione e conservazione di tutte le informazioni di progetto a particolari formati di scambio che devono risultare affidabili e, allo stesso tempo, universali. Tali da garantire un completo mantenimento dei dati senza alcun tipo di perdita o distorsioni, caratterizzati dunque da un grado di interoperabilità molto efficiente.

Ad oggi, l'unico formato di scambio completo di un modello informativo riconosciuto su scala internazionale capace di condividere senza perdita o distorsione di dati o informazioni è l'**IFC** (*Industry Foundation Classes*). L'**IFC** è un formato file aperto, neutrale, scritto utilizzando il linguaggio di programmazione **EXPRESS** e normato dalla **ISO 16739:2013**.

L'iniziativa IFC nasce nel 1994, grazie all'investimento, da parte di un consorzio industriale, nella realizzazione di un adeguato codice informatico centrato per il supporto nello sviluppo di applicazioni integrate; da allora, l'IFC si è evoluto in maniera progressiva fino ad arrivare all'ultima versione (**IFC4**) [43,45].

Questo formato standard ed interoperabile, definito **"aperto"** in quanto può essere implementato da chiunque, **"neutrale"** in quanto il suo sviluppo non è controllato da nessuna società, azienda o ente specifico, permette lo scambio di dati, in termini di geometria ma anche di informazioni, tra software diversi o complementari, riducendo o annullando la perdita di informazioni nel passaggio dei file (*FIG 1.1.3.a*) [43]. In seguito ad alcuni test effettuati il formato IFC non è risultato del tutto affidabile in quanto non è ancora in grado infatti di preservare il concetto di insieme dei parametri dei componenti, o famiglie Revit, poiché durante l'esportazione le proprietà associate non saranno più in grado di accompagnare o influenzare la geometria [44].

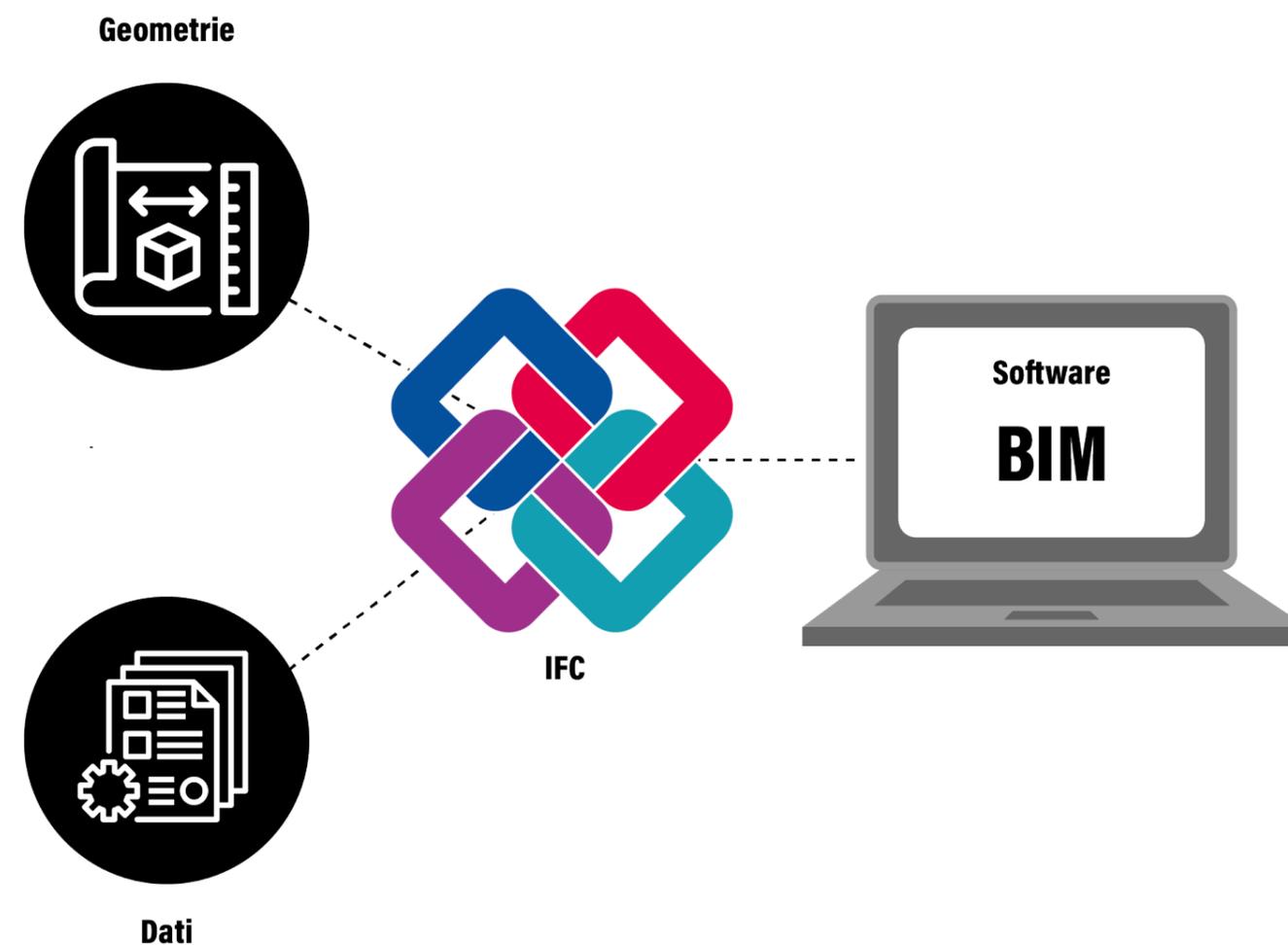


FIG. 1.1.3.a
Schema
concettuale
interoperabilità
tramite il
formato IFC

1.1.4 LOD

L'impostazione metodologica e concettuale, nonché condivisa, che definisce il Building Information Modeling prevede in particolare una meticolosa attenzione sul tema dei cosiddetti LOD, il cui acronimo si riferisce a un duplice significato: *"levels of detail"* e *"levels of development"* [66, 67].

Il primo, *"levels of detail"* (livelli o gradi di dettaglio), fa riferimento al **dettaglio grafico** che contraddistingue un elemento di progetto da un altro. I *"levels of detail"* sono dunque dei parametri che definiscono quanto sia dettagliato/accurato un elemento. In ordine crescente, da 0 a 3, si riferiscono all'aumento di contenuto grafico negli elaborati di progetto, a partire dalle tavole tecniche di pianta, prospetto e sezione alle diverse visualizzazioni 3D e rendering. Dal punto di vista puramente

grafico i gradi di dettaglio del modello si dividono in:

- **grado 0 – G0** (schematico): a questo grado è associato un disegno simbolico, molto schematico, in due dimensioni, spesso anche fuori scala (perché non indispensabile).
- **grado 1 – G1** (concept): associato ad una elaborazione tridimensionale con il minimo dettaglio possibile, senza alcuna componente materica associata e con dimensioni approssimative. La scala del modello è variabile a seconda dell'oggetto rappresentato: tra la scala 1:500 e quella 1:200/1:100;

Il secondo, *"level of development"* (livelli o gradi di sviluppo), fa riferimento al **livello di completezza** a cui un elemento di progetto è sviluppato. I *"levels of development"* definiscono con precisione, quindi, il livello di sviluppo delle informazioni, di varia natura, contenute in un elemento di un modello BIM o in tutto l'intero modello ed hanno il compito quindi di stabilire fino a che punto tale modello, o parte di esso, sia da ritenersi affidabile.

Dal punto di vista dello scambio dei dati, inoltre, i LOD costituiscono un punto di riferimento essenziale che permette a tutti gli attori del processo progettuale di specificare il livello di sviluppo dei contenuti del progetto con un certo grado di chiarezza, in modo da evitare che le informazioni grafiche e testuali contenute vengano fraintese o utilizzate in modo errato.

Sono presenti normative americane e italiane che definiscono le caratteristiche di ogni specifico LOD, in relazione al tipo di elemento considerato.

In ambito americano vi è il protocollo standard BIM **"G202-2013 Building Information Modeling"**, definito dall'American Institute of Architects (AIA), in cui il grado di sviluppo di un oggetto o modello BIM è stato suddiviso in cinque livelli, a seconda del crescente valore informativo e geometrico attribuito [48, 53]:

- **grado 2 – G2** (definitivo): associato ad un modello tridimensionale con un buon livello di dettaglio grafico tale da identificarne le caratteristiche tipologiche, formali, dimensionali e, in parte, anche materiche. Può includere anche disegni di dettaglio bidimensionali e può essere corredato da metadati e informazioni esaustive. La scala del modello è variabile in funzione dell'oggetto rappresentato: tra la scala 1:50 e quella 1:20.
- **grado 3 – G3** (render): associato ad un modello tridimensionale uguale a quello del grado 2 dal punto di vista tecnico e informativo, ma con resa grafica più curata, tendente ad una rappresentazione foto-realistica [76].

- **LOD 100:** (FIG 1.1.4.a) livello di progettazione concettuale.

L'elemento nel modello è rappresentato in modo estremamente semplificato, ovvero modellato con masse o volumi semplici a cui non viene associata alcuna informazione descrittiva e senza alcuna stratificazione; senza l'obbligo di essere in scala. Le informazioni in esso contenute sono minime e i dati che possono essere utilizzati permettono di svolgere delle analisi preliminari, studio dei volumi e possibili orientamenti. Il LOD 100 è comunemente utilizzato nella fase decisionale in cui vengono valutate le ipotesi progettuali.

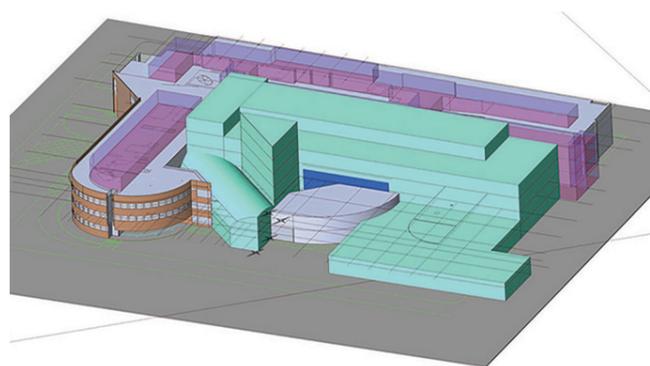


FIG. 1.1.4.a
Esempio di modello
caratterizzato da un LOD 100

- **LOD 200:** (FIG 1.1.4.b) livello che coincide con quello di progettazione definitivo.

Le diverse entità nel modello sono rappresentate graficamente come differenti oggetti o sistemi assemblati di elementi con un'approssimazione delle quantità, dimensioni, forma, posizione e orientamento. Il modello deve contenere elementi necessari come i pilastri, le colonne, i solai e le pareti, a loro volta classificati in base alla tipologia, le finestre e le porte. Possono, inoltre, essere allegate all'elemento informazioni di natura non unicamente grafica.



FIG. 1.1.4.b
Esempio di modello
caratterizzato da un LOD 200

- **LOD 300:** (FIG 1.1.4.c) livello di progettazione esecutivo. L'elemento nel modello è rappresentato graficamente come un oggetto o un sistema assemblato di elementi contenente al suo interno informazioni abbastanza accurate circa le quantità, dimensioni, forma, posizione e orientamento, descrizioni dettagliate sulle tipologie dei materiali e stratificazioni. I dati specifici riguardano le proprietà del singolo elemento. I quali saranno utilizzati per analisi quantitative e qualitative, quali, ad esempio, le analisi energetiche e temporali e il computo metrico.

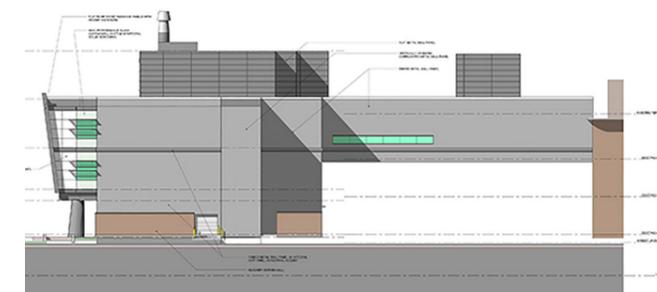


FIG. 1.1.4.c
Esempio di modello
caratterizzato da un LOD 300

- **LOD 400:** (FIG 1.1.4.d) L'elemento, oltre ad avere informazioni definite relative a quantità, dimensioni, forma, posizione e orientamento è corredato anche di tutte le informazioni necessarie alla sua realizzazione, installazione o assemblaggio, con dettagli costruttivi. Le informazioni sono utilizzate per lo sviluppo di analisi specifiche riguardanti l'aspetto metodologico di assemblaggio, i mezzi costruttivi e i costi basati su dati reali d'acquisto. Questo livello di dettaglio, assimilabile ad un *As-Built* è spesso inteso come l'equivalente del disegno di dettaglio esecutivo secondo il "Codice degli Appalti" della normativa italiana. Un modello LOD 400 è utilizzabile per controllo collisioni, analisi energetiche, fasi costruttive e computi estimativi.

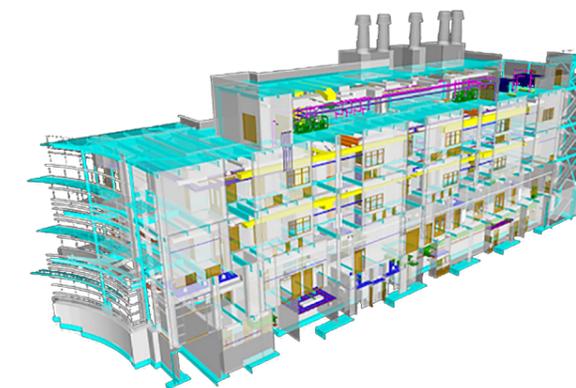


FIG. 1.1.4.d
Esempio di modello
caratterizzato da un LOD 400

- **LOD 500:** (FIG 1.1.4.e) È il livello finale di sviluppo dell'edificio ed è la rappresentazione del progetto così come è stato realizzato, assimilabile ad un As-Is. Ad ogni elemento del modello vengono associate ulteriori informazioni specifiche riguardanti anche la data reale di fornitura. Non è opportuno utilizzare il livello LOD 500 in modo generico per l'intero progetto ma viene utilizzato solo per quei sistemi assemblati e modificati in cantiere rispetto a quanto previsto in fase di progetto. Un modello caratterizzato dal LOD è utilizzabile per controllo costruttivo, gestione e manutenzione [63].



FIG. 1.1.4.e
Esempio di modello
caratterizzato da un LOD 500

La normativa italiana che fa riferimento ai LOD invece è la "UNI 11337:2017", la quale, in particolare nella parte 4, fa propria la distinzione terminologica tra LOD, LOG, LOI: il LOD (livello di sviluppo degli oggetti digitali) è composto dunque dai LOG (livello di sviluppo degli oggetti – attributi geometrici), e dai LOI (livello di sviluppo degli oggetti – attributi informativi) [19].

In riferimento allo schema riportato accanto (FIG 1.1.4.f), la necessità di precisazione di un determinato LOD da adottare in un progetto dipende dalla fase operativa alla quale si inserisce il caso studio preso in esame, dagli obiettivi prefissati e dall'utilizzo specifico del modello; questo perché non tutti i dati che

vengono inseriti possono essere utilizzati per tutti gli scopi.

Rivisitando la classificazione americana dei LOD, quella proposta dalla norma italiana "UNI 11337-4:2017" vede una scala alfabetica crescente da "LOD A" a "LOD G".

Si riportano in dettaglio le caratteristiche dei singoli LOD secondo la normativa italiana "UNI 11337-4:2017" (FIG 1.1.4.g)

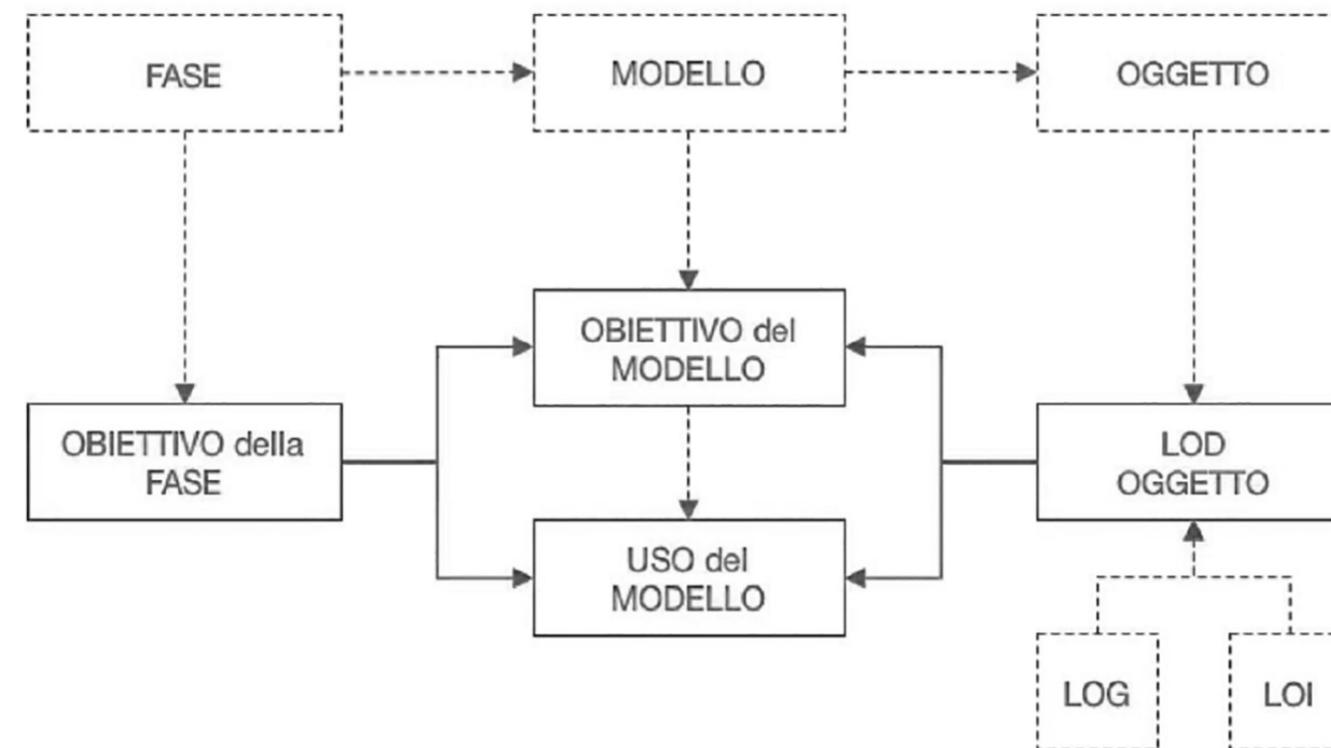


FIG. 1.1.4.f
Schema di strutturazione dei
LOD italiani. Usi e obiettivi del
modello e delle fasi. Fonte:
Norma UNI 11337-4:2017

FIG. 1.1.4.g
Pagina seguente.
Scala generale dei
LOD secondo la
normativa italiana
"UNI 11337-4:2017"

LOD	LOG	LOI
<p>A - Oggetto simbolico</p> 	<p>Le entità sono rappresentate graficamente attraverso un sistema geometrico simbolico o una raffigurazione di genere presa a riferimento senza vincolo di geometria</p>	<p>Le caratteristiche quantitative e qualitative sono indicative</p>
<p>B - Oggetto generico</p> 	<p>Le entità sono visualizzate graficamente come un sistema geometrico generico o una geometria d'ingombro</p>	<p>Le caratteristiche quantitative e qualitative sono approssimate</p>
<p>C - Oggetto definito</p> 	<p>Le entità sono visualizzate graficamente come un sistema geometrico definito</p>	<p>Le caratteristiche quantitative e qualitative sono definite in via generica entro e nel rispetto dei limiti della legislazione vigente e delle norme tecniche di riferimento e riferibili ad una pluralità di entità similari</p>
<p>C - Oggetto dettagliato</p> 	<p>Le entità sono visualizzate graficamente come un sistema geometrico dettagliato</p>	<p>Le caratteristiche quantitative e qualitative sono specifiche di una pluralità definita di prodotti similari. È definita l'interfaccia con altri sistemi specifici di costruzione, compresi gli ingombri approssimati di manovra e manutenzione</p>

LOD	LOG	LOI
<p>A - Oggetto simbolico</p> 	<p>Le entità sono visualizzate graficamente come uno specifico sistema geometrico specifico</p>	<p>Le caratteristiche quantitative e qualitative sono specifiche di un singolo sistema produttivo legato al prodotto definito. È definito il livello di dettaglio relativo alla fabbricazione, l'assemblaggio, e l'installazione compresi gli specifici ingombri di manovra e manutenzione</p>
<p>B - Oggetto generico</p> 	<p>Gli oggetti esprimono la virtualizzazione verificata sul luogo dello specifico sistema produttivo eseguito/costruito</p>	<p>Le caratteristiche quantitative e qualitative sono specifiche del singolo sistema produttivo del prodotto posato e installato. Sono definiti per ogni singolo prodotto gli interventi di gestione, manutenzione e/o riparazione e sostituzione da eseguirsi lungo tutto il ciclo di vita dell'opera</p>
<p>C - Oggetto definito</p> 	<p>Gli oggetti esprimono la virtualizzazione verificata aggiornata dello stato di fatto di una entità in un tempo definito</p>	<p>Rappresentazione storicizzata dello scorrere della vita utile di uno specifico sistema produttivo aggiornato rispetto a quanto originariamente eseguito/costruito e installato. Sono definiti per ogni singolo prodotto gli interventi di gestione, manutenzione e/o riparazione e sostituzione da eseguirsi lungo tutto il ciclo di vita dell'opera</p>

Proprio perché nata in ambito italiano e quindi legata al nostro patrimonio edilizio, tale norma introduce anche per la prima volta, insieme ad altre categorie di LOG, i cosiddetti **"LOD per il restauro"** [18, 48] e i **"LOD per la manutenzione/conservazione"** riferiti rispettivamente ai livelli di sviluppo **"F"** e **"G"**, in cui vengono descritte le specifiche cui riferirsi nel caso di interventi sul patrimonio esistente anche di interesse storico-culturale.

Il livello di dettaglio da utilizzare segue quindi regole ben precise, in funzione del tipo di intervento e degli obiettivi prefissati. A tal proposito, in accordo con la normativa italiana UNI 11337-4:2017, per la modellazione dell'oggetto di studio della tesi, essendo un intervento di restauro conservativo, è stato mantenuto un livello di

dettaglio corrispondente al **"LOD F"**; questo è stato possibile grazie anche alle varie documentazioni e tesi precedentemente svolte, ricavate in fase di raccolta dati, che hanno agevolato la ricerca di informazioni sulla realizzazione di alcuni elementi e su una eventualmente loro manutenzione. A tale LOD corrisponde la **"virtualizzazione"** stessa degli oggetti esistenti, anche attraverso la creazione di elementi specifici ad hoc come, nel presente caso studio, si fa riferimento alla modellazione del parapetto di protezione (vedere capitolo "4.1.3 - Risultati ottenuti e tecnologie adottate – Modello di cantiere"), oggetto non disponibile nelle librerie comuni. Sulla base di ciò, il modello corrisponde quindi ad un **"As Built"**, con tutte le caratteristiche presenti nel modello reale, ammettendo un trascurabile scostamento per geometrie complesse e irregolari.

Sulla base degli obiettivi da raggiungere in questo caso studio, la modellazione del tetto e delle travi strutturali ha previsto il raggiungimento di un livello di dettaglio geometrico (LOG) ridotto ed un livello di dettaglio informativo (LOI) elevato; mentre, per quanto riguarda le attrezzature da cantiere è stato utilizzato un livello di dettaglio corrispondente al **"LOD E"** poiché i **"LOD F"** e **"G"** non sono rilevanti.

1.1.5 Normativa

In merito al BIM, inteso come modello di progettazione e condivisione di informazioni e dati è necessario definirne le caratteristiche. A tal proposito tra le prime normative di riferimento si vede lo standard inglese PAS 1192-2:2013 *"Specification for Information Management for the capital/delivery phase of construction projects using Building Information Modelling"* [64], che definisce un processo standardizzato per il raggiungimento di obiettivi e *milestone* ben chiari. La risposta italiana è la norma UNI 11337, introdotta nel 2017 per garantire maggiore autonomia rispetto alla PAS 1192-2:2013. Nel contesto internazionale parte di queste norme viene recepita nella composizione di uno standard riconosciuto a livello mondiale in merito al campo del BIM, ovvero la ISO/TC59/SC13 *"Organization and digitization of information about buildings and*

civil engineering works, including building information modelling (BIM)", linee guida per progettisti e appaltatori coinvolti nel processo BIM, e la ISO 19650 *"Organization and digitization of information about buildings and civil engineering works, including building information modelling (BIM) — Information management using building information modelling"*.

A seguito della votazione del 2016 all'Accordo di Vienna, siglato da ISO (International Standard Organization) e CEN (Comitato Europeo di Normazione), è stato decretato che dal momento della pubblicazione della ISO 19650, questa e i successivi aggiornamenti sarebbero stati automaticamente adottati dai singoli stati [75]. Particolare attenzione è da porre alla parte 1 "Concetti e principi"

e alla parte 2 "Fase di consegna dei cespiti immobili". La prima si articola in 13 capitoli nei quali definisce i principi fondamentali della produzione e della condivisione informativa, aggiornando e ampliando i concetti di Maturità del BIM e di Capitolato Informativo [73]. La seconda si organizza come un unico flusso di lavoro attraverso la definizione di otto fasi di gestione delle commesse così strutturate:

1. Valutazione (di fattibilità) e formulazione delle esigenze;
2. Invito a presentare offerte;
3. Offerte;
4. Incarico;
5. Mobilitazione;
6. Produzione collaborativa di informazioni;

7. Consegna del modello informativo;
8. Chiusura della commessa (fine della fase di consegna) [74].

In Italia la norma di riferimento in merito alla gestione digitale dei processi informativi nel settore delle costruzioni è la UNI 11337:2017. Questo documento si struttura in dieci parti, di cui la prima, la quarta, quinta e la sesta sono state le prime pubblicate nel 2017 in risposta alla norma inglese e riguardano: modelli, elaborati ed oggetti, LOD ed oggetti, gestione dei modelli ed elaborati, un esempio di capitolato informativo. In merito ai LOD, vengono proposte differenti scale in base alla tipologie di intervento, e viene definita una loro codifica tramite una scala alfabetica. Con la parte due e la parte tre ("denominazione

e classificazione" e "(schede informative) LOI e LOG"), in relazione agli standard di classificazione, vengono definiti sistemi con approccio semantico, non codificatorio, per definire più coerentemente i contenuti informativi degli elementi. In modo da mettere in relazione gli oggetti e i loro contenuti. Di seguito i successivi quattro capitoli si occupano di: qualificazione delle figure, *project manager* e *BIM-manager*, del fascicolo del costruito, e della verifica amministrativa.

Nel 2017, oltre alla norma UNI 11337:2017, il primo dicembre è stato emanato il Decreto del Ministero delle Infrastrutture n°560. Il Decreto è strutturato in nove articoli, di cui il primo indica le finalità. Il secondo articolo di concentra sulle definizioni, tra le quali, quella di ambiente di condivisione dati come "un ambiente digitale

di raccolta organizzata e condivisione di dati relativi da un'opera e strutturati in informazioni relative a modelli ed elaborati digitali prevalentemente riconducibili ad essi, basato su un'infrastruttura informatica la cui condivisione è regolata da precisi sistemi di sicurezza per l'accesso, di tracciabilità e successione storica delle variazioni apportate ai contenuti informativi, di conservazione nel tempo e relativa accessibilità del patrimonio informativo contenuto, di definizione delle responsabilità nell'elaborazione dei contenuti informativi e di tutela della proprietà intellettuale" e quella di piano di gestione informativa, come "il documento redatto dal candidato o dall'appaltatore ovvero dal concessionario al momento dell'offerta e dell'esecuzione del contratto che, in risposta ai requisiti informativi del capitolato, struttura temporalmente e

sistematicamente i flussi informativi nella catena di fornitura dell'appaltatore o del concessionario, ne illustra le interazioni con i processi informativi e decisionali di quest'ultimo all'interno dell'ambiente di condivisione dei dati, descrive la configurazione organizzativa e strumentale degli operatori, precisa le responsabilità degli attori coinvolti".

Il terzo articolo affronta gli adempimenti preliminari delle stazioni appaltanti e al quarto, relativo all'interoperabilità, viene evidenziato come, attraverso un formato aperto (IFC), i risultati prodotti, una volta condivisi, siano fruibili da tutti i partecipanti al progetto senza la necessità di utilizzo di particolari tecnologie. Gli articoli 5, 7, 8, 9 trattano di: Utilizzo facoltativo dei metodi e strumenti elettronici di modellazione per l'edilizia e la infrastrutture,

capitolato, commissione di monitoraggio, entrata in vigore. Il sesto definisce le modalità e le tempistiche di progressiva introduzione nell'obbligatorietà di metodi e specifici strumenti elettronici.

Di seguito sono elencate le tempistiche da rispettare nell'adozione del BIM come metodo in relazione agli importi dei lavori:

Per i lavori complessivi relativi a opere di importo a base di gara pari o superiore a 100 milioni di euro, a decorrere dal 1° gennaio 2019;

Per i lavori complessivi relativi a opere di importo a base di gara pari o superiore a 50 milioni di euro, a decorrere dal 1° gennaio 2020;

1.1.6 Dimensioni

Per i lavori complessivi relativi a opere di importo a base di gara pari o superiore a 15 milioni di euro, a decorrere dal 1° gennaio 2021;

Per i lavori complessivi relativi a opere di importo a base di gara pari o superiore alla soglia definita all'articolo 35 del codice dei contratti pubblici, a decorrere dal 1° gennaio 2022;

Per i lavori complessivi relativi a opere di importo a base di gara pari o superiore a 1 milione di euro, a decorrere dal 1° gennaio 2023;

Per i lavori complessivi relativi a opere di importo a base di gara inferiore a 1 milione di euro, a decorrere dal 1° gennaio 2025.

In merito al BIM si parla di modello di "n dimensioni", "nD", riferendosi ad un modello che è l'estensione di uno che incorpora i diversi aspetti delle varie informazioni progettuali richieste ad ogni stadio del ciclo di vita dell'edificio. In altre parole, consiste in un **modello multidimensionale** che porta l'ennesimo numero di prospettive di progettazione. Le prospettive variano in ogni fase del ciclo di vita della costruzione ed includono la programmazione delle attività, la stima dei costi, l'accessibilità, la sostenibilità, la manutenibilità, l'acustica, le simulazioni energetiche, statiche...

A differenza dell'impiego del termine "nD" da parte dei matematici e dei fisici per generazioni, esso è stato adottato dal mondo delle costruzioni solo di recente. È dunque

importante sottolineare come per chi si occupa di matematica o fisica, esso si riferisce generalmente ad un numero di coordinate minime necessarie all'individuazione di un oggetto in un sistema, mentre, le prime dimensioni, nella pratica e nella ricerca del mondo delle costruzioni, sono codificate [23].

Le prime tre dimensioni si riferiscono alla geometria, con 4D si intende con il tempo e la programmazione delle attività e la quinta dimensione invece ci si riferisce alla stima dei costi. Generalmente vengono attribuite al metodo BIM sette dimensioni, aggiungendo, alle cinque citate in precedenza, la sostenibilità e il *facility management*. L'ordine delle ultime due in letteratura non è condiviso, vi è chi antepone la sostenibilità e chi la manutenibilità, ad esempio nella norma italiana UNI 11337:2017,

la prima in materia di BIM, denominata "Gestione digitale dei processi informativi delle costruzioni", si vede la sesta dimensione associata alla sostenibilità e la settima al ciclo di vita e alla manutenzione (FIG 1.1.6.a).

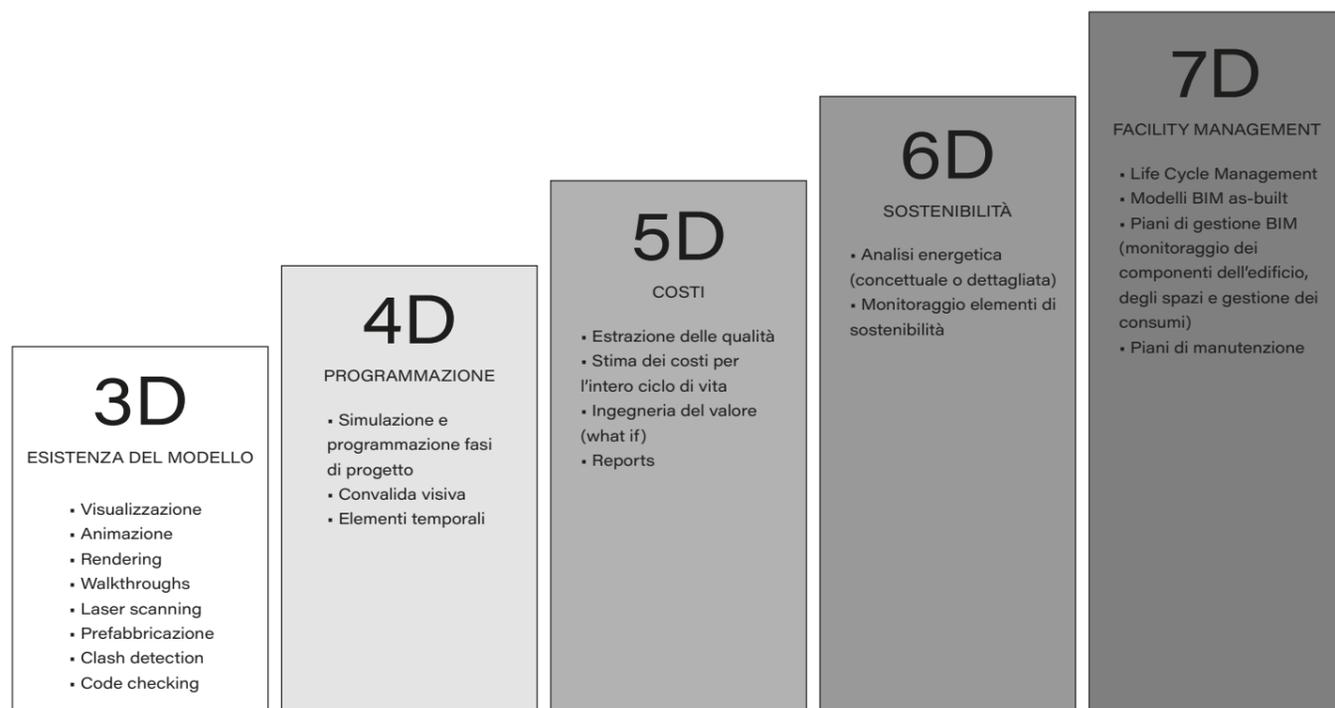


FIG. 1.1.6.a
Modello BIM a 7
dimensioni



1.2

FIG. 1.2.a
Fotografia di
un cantiere in
costruzione

Construction management

Come anticipato dal precedente capitolo, il *Building Information Modeling* offre dei notevoli vantaggi sia per quanto riguarda la gestione del progetto, ovvero la sua quarta dimensione, che per quanto riguarda le analisi economiche, quinta dimensione. Aspetti che, anche estrapolati dalla metodologia BIM, vanno a comporre il Construction management, la gestione della costruzione intesa come un approccio sistemico, di carattere manageriale, finalizzato al controllo e al coordinamento del processo di costruzione. Per meglio comprendere le implicazioni in questo capitolo verranno, dunque, trattati i temi inerenti alla quarta e alla quinta dimensione.

1.2.1 Gestione del progetto (4D)

Una delle problematiche più frequentemente riscontrate nel settore dell'edilizia riguarda i ritardi nei progetti, ai quali vanno ad aggiungersi i costi che quelle ore o giorni lavorativi aggiuntivi comportano in termini di ripianificazione delle attività già definite, noli delle attrezzature, costo della manodopera, ecc. Per cui la progettazione efficiente delle tempistiche all'interno di un progetto diventa fondamentale.

Definito dalla **norma UNI 11337-1** come: *"4D – quarta dimensione: simulazione dell'opera o dei suoi elementi in funzione del tempo, oltre che dello spazio"* [42, 81], il BIM 4D consiste appunto nell'impiegare la **variabile tempo** durante la fase di organizzazione e gestione del progetto. È dunque il legame tecnologico e concettuale che deriva dall'unione fra il modello

informativo (3D) e i sistemi di scheduling e planning; ciò consente di ottenere una visione di insieme, gestendo al meglio tutto il processo esecutivo e riducendo al minimo gli errori.

La quarta dimensione (4D), sostanzialmente, integra nel modello 3D un cronoprogramma strutturato come un diagramma di **Gantt**. Esso è in grado di visualizzare, analizzare e gestire la sequenza temporale delle costruzioni, permettendo ai progettisti di coordinare i diversi soggetti coinvolti, programmare e visualizzare le attività correlate del processo di costruzione e migliorarne il controllo rilevando anche eventuali conflitti tra esse. Risulta possibile dunque gestire il manufatto durante tutto il suo ciclo di vita, dalle prime fasi progettuali, alle fasi di gestione e manutenzione, fino alla pianificazione dello

smaltimento dei materiali e demolizione. Di seguito identificate le azioni che vengono effettuate durante le varie fasi.

- Durante la **fase progettuale**: visualizzare e gestire automaticamente le variazioni apportate;
- Durante la **fase di costruzione**: visualizzare l'andamento temporale delle diverse fasi di lavorazione, computare i materiali e valutare le interferenze spaziali e temporali;
- Durante le **fasi di cantierizzazione**: aumentare la sicurezza in cantiere e computare l'approvvigionamento dei materiali;
- Durante il **ciclo di vita del manufatto**: prevedere e gestire le operazioni di manutenzione.

1.2.2 Applicativi BIM (4D)

Navisworks (Autodesk) e **Synchro Pro** (Bentley) sono considerati i software più famosi ed utilizzati per la gestione del progetto; entrambi sono strumenti molto validi ma la scelta dell'uno rispetto all'altro dipende dal campo di applicazione del progetto, dall'utilizzo e dagli obiettivi. Di fatto, Navisworks è maggiormente utilizzato per la coordinazione dei modelli e la revisione del progetto; Synchro, invece, è più adatto per la gestione e pianificazione del progetto di costruzione, grazie alla presenza al suo interno di numerosi strumenti e parametri ben organizzati che consentono di eseguire processi più veloci ed efficienti. Ciò che chiarisce principalmente la differenza tra Navisworks e Synchro è il flusso di lavoro [46], per cui è utile innanzitutto identificare come entrambi i programmi collegano gli elementi 3D importati

al cronoprogramma, anch'esso importato nel software. In Navisworks è possibile farlo tramite il comando "Attacca oggetti alle attività" che in Synchro corrisponde a "Assegna risorse alle attività". Questo passaggio anticipa l'operazione successiva che riguarda l'impostazione del tipo di visualizzazione degli elementi: Navisworks ha "Task Type" (tipo di attività) mentre Synchro ha "Use Profile" (usa il profilo). Questi comandi servono appunto per dire al software come visualizzare gli oggetti o le risorse, prima, durante e dopo l'attività assegnata.

Di seguito una tabella (FIG 1.2.2.a) riferita agli "Appearance Profiles" (profili di aspetto) di Synchro.

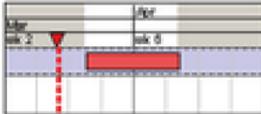
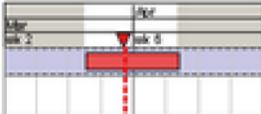
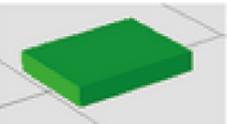
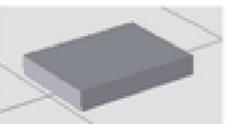
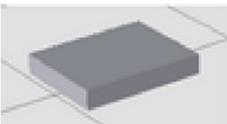
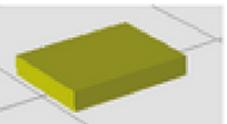
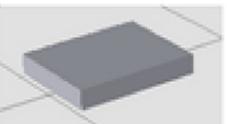
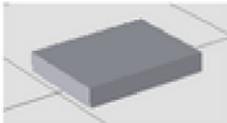
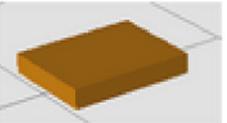
	FOCUS TIME		
PROFILO	 Prima dell'attività	 Durante l'attività	 Dopo l'attività
INSTALLAZIONE	 Inizio della visualizzazione	 Visualizzazione attiva	 Fine della visualizzazione
MANTENIMENTO	 Inizio della visualizzazione	 Visualizzazione attiva	 Fine della visualizzazione
RIMOZIONE	 Inizio della visualizzazione	 Visualizzazione attiva	 Fine della visualizzazione
TEMPORANEO	 Inizio della visualizzazione	 Visualizzazione attiva	 Fine della visualizzazione

FIG. 1.2.2.a
Modalità di
visualizzazione delle
risorse assegnate su
Synchro Pro

Questi profili di Synchro sono utilizzati per una risorsa all'interno di un'attività. Una singola risorsa quindi può avere profili di utilizzo diversi in base al tipo di compito e una singola attività, a sua volta, può essere associata a più risorse, tutte con profili di utilizzo diversi. Navisworks, al contrario, consente solo l'utilizzo di un tipo di attività per ogni singolo compito.

Un'altra differenza riguarda il layout per gli spostamenti: all'interno di Synchro è possibile impostare dei "3D Paths" (percorsi 3D) che sono davvero facili da creare e manipolare; basta poi assegnare gli oggetti (che sono assegnati alle attività) ai percorsi. Navisworks è esattamente il contrario, infatti, qualora si volesse solo spostare rapidamente un oggetto, può risultare confuso, macchinoso e noioso [46].

In conclusione, per quanto riguarda la gestione di un progetto, la convalida di un cronoprogramma, l'esecuzione di simulazioni 4D virtuali e l'analisi di percorsi ed interferenze, il modo in cui funziona Synchro permette di creare un programma dettagliato, completo, corretto ed efficiente. Al contrario, con Navisworks è più facile commettere errori e risulta anche difficile una eventuale correzione.

A partire dalle considerazioni fatte, per una scelta basata sulle comodità di utilizzo, funzionalità, praticità e semplicità legate allo sviluppo del modello 4D del presente caso studio, si è scelto di utilizzare il programma Synchro PRO della software house Bentley, mantenendo di fatto sempre un approccio **OPEN BIM**. Essendo una piattaforma digitale

altamente interoperabile questo software avanzato, grazie soprattutto all'utilizzo della simulazione in tempo reale delle varie fasi di cantiere, offre, come anticipato precedentemente, una soluzione integrata ed ottimizzata per un'attenta visualizzazione, analisi, modifica e gestione dell'intero progetto in ogni sua fase. Synchro è come una "macchina del tempo" [11] in cui è possibile visualizzare e tracciare ogni attività, trovare rapidamente le soluzioni migliori e condividere le informazioni in un ambiente di visualizzazione. Un valido motivo che ci ha spinto verso l'utilizzo di questo software è stato la qualità e la presenza di un efficiente servizio clienti professionale, utile soprattutto in fase di download e installazione.

Di seguito le funzioni e caratteristiche principali del software:

- **Creazione di simulazioni ed animazioni 4D:** l'importazione di un modello 3D realizzato con programmi BIM, come Revit, è possibile effettuare delle analisi di tipo preventivo, che possano monitorare tutte le fasi di realizzazione e gestione dell'opera. La simulazione delle fasi costruttive consente dunque una visualizzazione anticipata di eventuali problematiche che potrebbero riscontrarsi solo in cantiere, come possibili ritardi e aumento dei costi, ed evidenziare condizioni di lavoro non sicure.
- **Gestione delle quantità e delle risorse:** il software è in grado di quantificare gli elementi presenti nel modello anche nel caso in cui fosse inclusivo di più modelli importati;
- **Clash Detection:** funzione che consente di effettuare analisi delle interferenze, utile per la rilevazione di eventuali errori effettuati durante la realizzazione del modello 3D prima di essere importato;
- **Revisione del progetto:** una molteplicità di comandi permette di inserire direttamente all'interno del modello 4D delle annotazioni volte a migliorare la comunicazione tra i diversi attori che operano sullo stesso file.

1.2.3 Quantity takeoff

La stima dei costi, in inglese *"Quantity take off"* o "QTO", è uno dei compiti più critici che concerne tutti gli attori coinvolti nell'industria delle costruzioni attraverso il ciclo di vita del progetto edilizio e specialmente quelli interessati nella fase di gara dopo il completamento della progettazione. Nella pratica, il **processo di stima dei costi** è composto da tre processi principali: la classificazione di tutti i prodotti della costruzione in elementi, la computazione delle quantità di ogni elemento, il calcolo del prezzo di ogni elemento e l'indicizzazione al fine di ottenere il costo del progetto [30].

Il metodo tradizionale basato su disegni bidimensionali, schede tecniche e prezzari comporta un impiego di tempo considerevole e proporzionalmente al tempo impiegato

aumenta la probabilità di errori di trascrizione e calcolo. Grazie alla sua natura object oriented e tridimensionale, il BIM facilita l'estrazione dei dati per i prodotti della costruzione. La ricchezza di dati e la capacità dei modelli di collegare agli oggetti relativi materiali permettono di **accelerare il processo** di stima economica del progetto **incrementandone l'accuratezza** [31].

Il QTO si occupa di due tipi di quantità: le quantità fisiche dei componenti dell'edificio definite PPQ (products/procurement quantities) e quelle che si riferiscono agli specifici processi costruttivi del progetto, PQ [23] o PCQ [35] (process quantities). Esempi di PPQ sono il volume di una colonna in calcestruzzo o l'area di una finestra. Le ore di lavoro per installare un muro a secco e le

quantità di scavi necessari nel sito sono invece esempi di PQ. La differenza tra i due tipi di quantità è che quelle relative ai componenti del progetto **sono fisse** al momento in cui la fase di progettazione dell'edificio è ottimizzata, mentre le PQ **dipendono da decisioni** sul metodo e sono dettate dalle condizioni del sito; decisioni che sono spesso caratterizzate dalla soggettività, da preferenze ed esperienze di chi le prende [23].

1.2.4 Applicativi BIM (5D)

Il BIM, come anticipato nel capitolo "1.1.6 - BIM Dimensioni" affrontando le tematiche legate alla quinta dimensione, offre un ottimo supporto all'analisi dei costi. Esistono diversi software volti a realizzare documenti economici, come computi, basandosi su modelli BIM, tra i quali: Namirial - Regolo BIM [60], Team System - CPM [71], Allplan BCM [55], Blumatica BIM computo [58] e Acca - PriMus IFC [43, 54].

Regolo BIM è un programma distribuito dalla Namirial per la realizzazione di computi metrici estimativi, contabilità e documentazione correlata e offre la computazione delle quantità da oggetti BIM tramite l'integrazione con ARCHLine.XP Namirial BIM, ovvero un connettore IFC che permette di lavorare con i dati del modello in maniera sincrona e asincrona. Permette la gestione gerarchica di

categorie e la creazione di filtri per visualizzare voci e misurazioni del computo relative ad una specifica categoria. Grazie all'impiego delle categorie è possibile visualizzare il riepilogo degli importi del computo suddivisi per categorie. All'interno del software è possibile utilizzare elenchi prezzi scaricabili da internet ed esportare i documenti in formato RTF/Word ed Excel [60].

CPM, Construction Project Management, distribuito da Team System, è stato sviluppato per la gestione del cantiere, sia dal lato 4D che da quello 5D. È fruibile in locale, pc o in cloud e si presenta come una soluzione composta da moduli, in modo che non sia necessario installare le funzionalità del programma che non verranno utilizzate. Permette di gestire il listino prezzi, comporre offerte, generare

preventivi, pianificare su Gantt, effettuare simulazioni virtuali e analizzare costi e ricavi. All'interno del software è possibile importare e gestire listini prezzi e prezziari in formato .six, .bc3, .xls, .xlsx... [71]

Allplan Building Cost Management, distribuito da Allplan, utilizza un metodo di progettazione "design to cost" al fine di realizzare computi metrici e del controllo dei costi di costruzione. I dati del progetto vengono registrati e presentati in modo trasparente dal momento dell'ordine, alla verifica del computo metrico, fino al controllo di acconti e pagamenti finali. Utilizza i prezziari e permette l'esportazione verso i programmi Office e Acca [55].

Blumatica BIM Computo è il software BIM distribuito da Blumatica per la redazione di

computi, permette di federare diversi file IFC e di computare gli elementi provenienti dai diversi modelli in un unico computo, inoltre permette la vista specifica degli oggetti BIM non ancora computati. La casa produttrice fornisce gratuitamente i prezziari e permette un elevato grado di interoperabilità con il software gratuito Blumatica Pitagora, specifico per computi metrici e contabilità dei lavori [58].

PriMus IFC è distribuito da Acca, la casa produttrice con i software più utilizzati per analisi economiche in edilizia. Comunica con il formato IFC e permette di integrare e gestire diversi modelli all'interno dello stesso file. Attraverso l'analisi delle proprietà degli elementi permette di definire regole di selezione valide sia per la visualizzazione, attraverso la creazione di filtri, che per la

misurazione delle entità [43, 54]. All'interno del software è possibile definire una *Work Breakdown Structure*, creare e gestire categorie di lavorazioni in modo da poter visualizzare le voci di spesa secondo le categorie. Con l'installazione del programma si installano anche diversi prezzari e comunque è possibile scaricarli gratuitamente tramite il programma o dal sito della casa produttrice. Dato che molti software per la produzione di computi offrono funzionalità molto simili, il **programma individuato** per l'analisi economica di questo lavoro di tesi è stato **PriMus IFC**, per la diffusione, la possibilità di gestire più IFC contemporaneamente, la categorizzazione delle voci e la possibilità di fruizione dei prezzari.



1.3

FIG. 1.3.a
Fotografia di
uno schedario
antico

Classifica- zione

Il termine classificazione si riferisce a tutte quelle attività/processi che sono riconducibili alla gestione della conoscenza. È in questi "contenitori di conoscenza", che le informazioni sono catalogate e gestite in modo da essere facilmente reperibili [20]. L'attività di classificazione ha come fine ultimo quello di **organizzare** le voci in modo che possano essere utilizzate dagli operatori del settore di competenza, ricorrendo a criteri di tipo razionale. Infatti, la realizzazione di un sistema di classificazione rende possibile l'identificazione univoca di oggetti e la precisione dei collegamenti tra i "contenitori" includenti le informazioni.

Nel mondo delle costruzioni vengono impiegati diversi sistemi di classificazione al fine di gestire i progetti nella loro programmazione,

stima dei costi e analisi delle componenti degli edifici. L'identificazione degli elementi tecnici permette di ottenere una scomposizione gerarchica dell'intero complesso edilizio definita **WBS** [18] (*Work Breakdown Structure*). Questa metodologia risulta essere compatibile con il BIM grazie alla possibilità di associare informazioni testuali agli elementi che compongono il modello, tant'è che in alcuni applicativi come Revit presentano di default alcuni sistemi di classificazione.

In Italia la classificazione del sistema edilizio è normata dalla UNI 8290 [37, 38, 39, 40]. Altre tipologie di classificazione di rilievo nel mondo sono la UniClass [72], la UniFormat II [17, 18, 20], l'OmniClass [50] e il MasterFormat [18, 20], le quali verranno trattate più approfonditamente nei seguenti paragrafi.

1.3.1 UNI 8290

La normativa UNI 8290 è uno standard italiano rilasciato dall'UNI, l'Ente Italiano di Normazione e si fonda sui seguenti criteri. La scomposizione presenta **tre livelli** e dà luogo a tre insiemi denominati: **classi di unità tecnologiche** (primo livello); **unità tecnologiche** (secondo livello); **classi di elementi tecnici** (terzo livello) (FIG 1.3.1.a e FIG 1.3.1.b). Ai fini operativi, la scomposizione potrà essere estesa ad ulteriori livelli (quarto livello e successivi). Lo scopo è di fornire un elenco dei principali requisiti del sistema tecnologico, al fine di: unificare l'esposizione nelle attività normative, programmatiche, progettuali, operative e di comunicazioni relative al processo edilizio; definire il quadro di riferimento dei requisiti rispetto agli agenti che li motivano alle esigenze a cui sono trasposti e agli oggetti del sistema tecnologico cui sono riferibili.

EDILIZIA RESIDENZIALE - SISTEMA TECNOLOGICO CLASSIFICAZIONE E TERMINOLOGIA (NORMA UNI 8290 - 1981)		
Classi di unità tecnologiche	Unità tecnologiche	Classi di elementi tecnici
1. Struttura portante	1.1 Struttura di fondazione	1.1.1 Strutture di fondazione dirette 1.1.2 Strutture di fondazione dirette
	1.2 Struttura di elevazione	1.2.1 Strutture di elevazione verticali 1.2.2 Strutture di elevazione orizzontali e inclinate 1.2.3 Strutture di elevazione spaziali
	1.3 Struttura di contenimento	1.3.1 Strutture di contenimento verticali 1.3.2 Strutture di contenimento orizzontali
2. Chiusura	2.1 Chiusura verticale	2.1.1 Pareti perimetrali verticali 2.1.2 Infissi esterni verticali
	2.2 Chiusura orizzontale inferiore	2.2.1 Solai a terra 2.2.2 Infissi orizzontali
	2.3 Chiusura orizzontale su spazi esterni	2.3.1 Solai su spazi aperti
	2.4 Chiusura superiore	2.4.1 Coperture 2.4.2 Infissi esterni orizzontali
3. Partizione interna	3.1 Partizione interna verticale	3.1.1 Pareti interne verticali 3.1.2 Infissi interni verticali 3.1.3 Elementi di protezione
	3.2 Partizione interna orizzontale	3.2.1 Solai 3.2.2 Soppalchi 3.2.3 Infissi interni orizzontali
	3.3 Partizione interna inclinata	3.3.1 Scale interne 3.3.2 Rampe interne
4. Partizione esterna	4.1 Partizione esterna verticale	4.1.1 Elementi di protezione 4.1.2 Elementi di separazione
	4.2 Partizione esterna orizzontale	4.2.1 Balconi e logge 4.2.2 Passerelle
	4.3 Partizione esterna inclinata	4.3.1 Scale esterne 4.3.2 Rampe esterne
5. Impianto di fornitura servizi	5.1 Impianto di climatizzazione	5.1.1 Alimentazione 5.1.2 Gruppi termici 5.1.3 Centrali di trattamento fluidi 5.1.4 Reti di distribuzione e terminali 5.1.5 Reti di scarico condensa 5.1.6 Canne di esalazione
	5.2 Impianto idrosanitario	5.2.1 Allacciamenti 5.2.2 Macchine idrauliche 5.2.3 Accumuli 5.2.4 Riscaldatori 5.2.5 Reti di distribuzione acqua fredda e terminali 5.2.6 Reti di distribuzione acqua calda e terminali 5.2.7 Reti di ricircolo dell'acqua calda 5.2.8 Apparecchi sanitari
	5.3 Reti di smaltimento liquidi	5.3.1 Reti di scarico acque fecali 5.3.2 Reti di scarico acque domestiche 5.3.3 Reti di scarico acque meteoriche 5.3.4 Reti di ventilazione secondaria

FIG. 1.3.1.a
Estratto norma
UNI 8290

1.3.2 UniClass

CLASSIFICAZIONE E TERMINOLOGIA (NORMA UNI 8290 - 1981) (segue)		
Classi di unità tecnologiche	Unità tecnologiche	Classi di elementi tecnici
5. Impianto di fornitura servizi (segue)	5.4 Impianto di smaltimento aeriformi	5.4.1 Alimentazione 5.4.2 Macchine 5.4.3 Reti di canalizzazione
	5.5 Impianto di smaltimento solidi	5.5.1 Canne di caduta 5.5.2 Canne di esalazione
	5.6 Impianto di distribuzione gas	5.6.1 Allacciamenti 5.6.2 Reti di distribuzione e terminali
	5.7 Impianto elettrico	5.7.1 Alimentazione 5.7.2 Allacciamenti 5.7.3 Apparecchiature elettriche 5.7.4 Reti di distribuzione e terminali
	5.8 Impianto di telecomunicazioni	5.8.1 Alimentazione 5.8.2 Macchine 5.8.3 Reti di distribuzione e terminali
	5.9 Impianto fisso di trasporto	5.8.1 Alimentazione 5.8.2 Macchine 5.8.3 Parti mobili
6. Impianto di sicurezza	6.1 Impianto antincendio	6.1.1 Allacciamenti 6.1.2 Rilevatori e trasduttori 6.1.3 Reti di distribuzione e terminali 6.1.4 Allarmi
	6.2 Impianto di messa a terra	6.2.1 Reti di raccolta 6.2.2 Dispensori
	6.3 Impianto parafulmine	6.3.1 Elementi di captazione 6.3.2 Rete 6.3.3 Dispensori
	6.4 Impianto antifurto ed antiintrusione	6.4.1 Alimentazione 6.4.2 Rivelatori e trasduttori 6.4.3 Rete 6.4.4 Allarmi
7. Attrezzatura interna	7.1 Arredo domestico	7.1.1 Pareti contenitore (*)
	7.2 Blocco servizi	(*)
8. Attrezzatura esterna	8.1 Arredi esterni collettivi	(*)
	8.2 Allestimenti esterni	8.2.1 Recinzioni (*) 8.2.2 Pavimentazione esterna (*)
(*) Da definire, elenco non esaustivo		
Fonte: Norma UNI 8290 (Edilizia residenziale, Sistema tecnologico, Classificazione e terminologia) Studio del progetto: Sottocommissione 1 "Requisiti e prestazioni" della Commissione "Edilizia" dell'UNI, 1979. Esame finale ed approvazione: Gruppo settoriale III "Edilizia e correlati" della Commissione Centrale Tecnica dell'UNI, Commissione Centrale Tecnica dell'UNI, 1980. Ratifica: Presidente dell'UNI, 1981.		

FIG. 1.3.1.b
Estratto norma
UNI 8290

Il modello UniClass è un sistema di classificazione per l'industria inglese in grado di coprire tutta la filiale del settore delle Costruzioni pubblicato per la prima volta nel 1997. Per aggiornarlo alle modifiche che il settore ha subito negli anni tra il 2013 e il 2015 è stata proposta la norma UniClass 2 (nota anche come UniClass 2015). La modifica ha reso il sistema più adatto alla pratica edilizia moderna in accordo con la ISO 12006-2 in modo da ampliare il suo impiego alla classificazione di informazioni sui costi e sulle strategie tecnologiche, rendendola compatibile con i nuovi sistemi di progettazione BIM.

Il sistema di classificazione UniClass2015 è suddiviso in **tabelle**, composte in modo che possano accogliere le nuove tecnologie e quelle che verranno sviluppate.

I titoli di queste sono:

- Attività
- Complessi
- Elementi
- Entità (secondo forma)
- Entità (secondo la funzione)
- Fasi di progetto
- Prodotti da costruzione
- Spazi
- Sistemi
- Risultati di lavoro
- CAD

1.3.3 UniFormat II

Queste tabelle vedono associate alle voci, codici definiti da coppie di numeri decimali suddividendo gli elementi in gruppi e sottogruppi andando a mano a mano a definire più precisamente l'oggetto della classificazione. Ogni codice è composto da quattro o cinque coppie di caratteri. La coppia iniziale identifica quale tabella viene utilizzata e impiega le lettere. Le quattro coppie seguenti rappresentano gruppi, sottogruppi, sezioni e oggetti.

Un esempio di questo sistema:

- 30 Roof, floor, and paving systems
- 30_10 Pitched, arched and domed roof structure systems
- 30_10_30 Framed roof structure systems
- 30_10_30_25 Heavy steel roof framing systems

UniFormat è un formato standard per la classificazione degli elementi edilizi e dei relativi lavori di cantiere, creato congiuntamente con ASMT, CSI e CSC, volto a garantire coerenza nella valutazione economica dei progetti di costruzione nel tempo e da progetto a progetto, a migliorare la gestione del progetto e il reporting in tutte le fasi del ciclo di vita dell'edificio. Il contenuto è scelto da operatori del settore in funzione dell'elevata incidenza su costi e frequenza di utilizzo in modo da basare l'analisi economica su un quadro elementare invece che su una classificazione basata sul prodotto, con fine la riduzione dei tempi e dei costi per la valutazione delle alternative nella fase iniziale di progettazione.

Il formato **si sviluppa in livelli**. Il primo, il raggruppamento di elementi più grande, identifica gli elementi del gruppo principale come la sottostruttura, la chiusura e gli interni. Il livello 2 suddivide gli elementi del livello 1 in elementi del gruppo. La chiusura, ad esempio, include la sovrastruttura, la chiusura esterna e il tetto. Il livello tre suddivide ulteriormente gli elementi del gruppo in elementi individuali. Chiusura esterna, ad esempio, include muri esterni, finestre esterne e porte esterne. Il quarto livello aggiunto in un secondo momento suddivide i singoli elementi in sotto elementi ancora più piccoli in modo da garantire una descrizione più accurata. I sotto elementi standard della fondazione, ad esempio, includono fondazioni di muri, fondazioni di colonne, drenaggio perimetrale e isolamento.

1.3.4 OmniClass

OmniClass è un sistema usato per immagazzinare materiale e informazioni su progetti, progettato per fornire una base standard per la classificazione e catalogazione di informazioni, è stato creato e impiegato nel Nord America per assistere tutto il ciclo di vita di una costruzione, dall'ideazione alla dismissione. È stato concepito per comprendere tutti i livelli di dettaglio di un'opera, sia essa a carattere industriale, commerciale o residenziale, dalle strutture complesse, ai materiali, ai sistemi costruttivi.

È composto da **15 tavole**, ognuna tratta differenti tipologie di informazione. Ogni tavola può essere usata separatamente dalle altre o in congiunzione in modo da concatenare più codici per identificare un oggetto maggiormente complesso.

Le 15 tavole sono:

- Tabella 11 – Funzione edilizia
- Tabella 12 – Moduli
- Tabella 13 – Spazi per funzione
- Tabella 14 – Spazi per modulo
- Tabella 21 – Elementi
- Tabella 22 – Risultati di lavoro
- Tabella 23 – Prodotti
- Tabella 31 – Fasi
- Tabella 32 – Servizi
- Tabella 33 – Discipline
- Tabella 34 – Ruoli organizzativi
- Tabella 35 – Strumenti
- Tabella 36 – Informazioni
- Tabella 41 – Materiali
- Tabella 49 – Proprietà"

1.3.5 MasterFormat

MasterFormat è un sistema di catalogazione delle informazioni applicato all'industria delle costruzioni, particolarmente diffuso negli Usa e in Canada sviluppato rispettivamente dal CSI (Construction Specification Institute) e dal CSC (Construction Specification Canada). Esso si compone di un **insieme di numeri e titoli**, i quali non rappresentano prodotti da costruzione bensì pratiche costruttive, con lo scopo di classificare le informazioni relative alla costruzione e alla manutenzione.

All'interno di un'unica tavola MasterFormat possiede una struttura gerarchica che si compone di gruppi e sottogruppi, i primi non presentano una classificazione numerica, mentre ai secondi sono associate delle coppie di numeri decimali. In questo modo questo sistema, che restituisce di un oggetto una

codifica a sei cifre, è espandibile in qualsiasi momento, senza la necessità di stravolgere l'intero sistema.

1.3.6 Comparazione

Dall'analisi dei sistemi di classificazione si evince come alcuni siano indicati per certi scopi e come altri abbiano la possibilità di essere impiegati per molteplici usi (*FIG 1.3.6.a*). Di seguito verranno considerati i fini principali degli standard. Nell'ottica della gestione di cantiere, volta anche alla quantificazione economica, oltre ai sistemi e alle componenti dell'edificio, vengono analizzate le lavorazioni e le opere di cantiere. Per essere adatto a questo fine, uno standard, deve poter classificare tali categorie. Per lo sviluppo di questo progetto di tesi, dunque, non sono risultati sufficienti né la norma UNI 8290, che non presenta voci specifiche per le opere di cantiere, né il MasterFormat, che si incentra sulle lavorazioni, le quali sono più difficilmente rappresentabili in un ambiente BIM. Il fatto che gli standard UniClass e OmniClass presentino una

struttura a tavole permette di integrare diverse informazioni in relazione alle entità, ma allo stesso tempo rende più articolata la decodifica. L'UniFormat risulta essere l'unico sistema di classificazione a struttura gerarchica con scopo l'analisi dei costi, coerente con l'intento e con le modalità di sviluppo di questo lavoro di tesi, garantendo una maggior semplicità di codifica dei due standard con struttura a tavole.

	PAESE D'ORIGINE	SCOPO	STRUTTURA	PRESENTA ELEMENTI	PRESENTA OPERE DI CANTIERE
Uni 8290	Italia	Scomposizione sistema costruttivo	Gerarchica	✓	✗
UniClass	Regno Unito	Analisi costi e tecnologie	Tavole	✓	✓
Uni Format II	Nord America	Analisi costi	Gerarchica	✓	✓
OmniClass	Nord America	Catalogazione informazioni	Tavole	✓	✓
MasterFormat	USA e Canada	Manutenzione e costruzione	Gerarchica	✗	✓

FIG. 1.3.6.a
Tabella di
comparazione degli
standard citati



1.4

FIG. 1.4.a
Canali di
comunicazione
contemporanei

Comunica- zione

Per poter gettare le basi per una raccolta fondi è necessario comprendere come comunicare.

La comunicazione d'impresa, o corporate communication, è quel complesso di attività e interazioni che vedono impegnata l'azienda e che hanno come obiettivo influenzare atteggiamenti e comportamenti nei suoi confronti da parte di interlocutori di varia natura [66]. In senso ampio la comunicazione è quindi l'insieme delle azioni che l'azienda fa per rivolgersi al proprio mercato, reale o potenziale, e/o a dipendenti e entità con cui intrattiene relazioni.

La comunicazione è una funzione fondamentale del marketing, ma non l'unica; ha acquisito particolare importanza anche a seguito della pubblicazione, nel 1999, di un libro

dal titolo "Cluetrain manifesto". Il libro contiene 95 tesi che hanno l'obiettivo di esaminare l'impatto di internet sia sui mercati che sulle organizzazioni. È proprio grazie alla diffusione della tecnologia che la comunicazione è diventata centrale nelle attività aziendali. Il Cluetrain Manifesto definisce i mercati come "Conversazioni"; per poter dialogare l'azienda ha bisogno di trovare una propria voce, un proprio tono adatto agli obiettivi che si prefigge.

La comunicazione ha la necessità fondamentale di essere costantemente **allineata con gli obiettivi** strategici dell'azienda: deve interpretarli, sostenerli e portarli a conoscenza dei vari tipi di pubblico.



FIG. 1.4.b
L'azienda, in quanto sistema aperto, deve confrontarsi con una serie di pubblici e target diversi

Da questo punto di vista la comunicazione è stata definita come uno specchio e una finestra:

- è lo specchio della realtà che circonda l'azienda
- è anche finestra sulle intenzioni future dell'azienda, sui suoi obiettivi e sulle sue ragioni di esistere [36].

La coerenza quindi è uno degli elementi fondamentali della comunicazione, che deve guidare tutte le occasioni in cui l'azienda fa sentire la sua voce.

Sono molti gli strumenti di cui la comunicazione dispone per raggiungere i propri obiettivi: sono definiti come Canali o

Strumenti, e possono essere distinti a seconda che utilizzino o meno strumenti tecnologie digitali. L'introduzione delle tecnologie ha infatti cambiato radicalmente il panorama delle attività di comunicazione e marketing: soprattutto ha offerto ai vari interlocutori delle aziende la possibilità di dialogare con immediatezza e velocità. Sono vantaggi anche competitivi che la carta non offre: chi sa utilizzare a proprio beneficio la tecnologia può modulare la propria voce in modo da raggiungere il pubblico nel modo e nel tempo più coerenti. La diffusione degli strumenti digitali e l'accesso ad internet sono così capillari da rendere indispensabile considerare sempre entrambi i mondi nel definire una strategia di comunicazione e marketing.

POPOLAZIONE DELL'ITALIA



60.41 M

100 %
Della popolazione

-0.2 %
Variazione rispetto il 2019

CONNESSIONI DA CELLULARE



77.71 M

128.6 %
Della popolazione

-2.2 %
Variazione rispetto il 2019

UTENTI IN INTERNET



50.54 M

83.7 %
Della popolazione

+2.2 %
Variazione rispetto il 2019

UTENTI ATTIVI SUI SOCIAL



41.00 M

67.9 %
Della popolazione

+5.7 %
Variazione rispetto il 2019

FIG. 1.4.c
Statistiche italiane utilizzo di internet, 2020.
Fonte dati We Are Social



2'700'000'000

Numero di utenti di Facebook.com nel mondo

690'000'000

Visite di Facebook.com in Italia nell'arco del 2020

80.4 %

Degli utenti di internet in Italia, nel 3° quadrimestre del 2020, ha dichiarato di aver usato Facebook almeno una volta nell'ultimo mese

+49 %

Utilizzo di Facebook in Italia durante la prima quarantena

3°

Ricerca più frequente in Italia dopo: "meteo" e "Coronavirus"



Il 63 % degli utenti di internet in Italia, ha età compresa tra i 16 e i 64 anni

1 h 52 m è il tempo speso sui social in media in Italia

FIG. 1.4.d
Statistiche Facebook .it, 2020.
Fonte dati We Are Social

Gli strumenti di comunicazione si dividono quindi in offline e online:

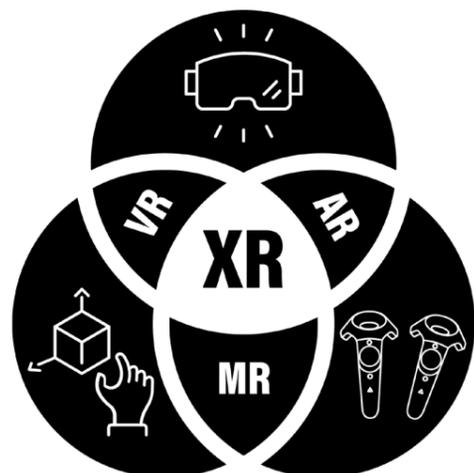
Offline definisce tipicamente i canali che non sfruttano tecnologie rivolte a moltiplicare e amplificare la possibilità di parlare a più persone. Il cosiddetto "outdoor" ad esempio comprende le affissioni pubblicitarie di vario tipo; i poster di carta sono chiaramente offline, ma lo sono anche i grandi monitor digitali, la cui visione è riservata a chi si trovi a passare in quel posto, in quel momento. Con il termine "offline" intendiamo tutti quei canali non strettamente collegati con il web: televisione, radio, giornali cartacei, per citare alcuni esempi. L'obiettivo principale delle strategie di marketing offline è quello di creare una forte

consapevolezza dei prodotti o dei servizi offerti dall'azienda [67].

Online sono invece gli strumenti che utilizzano internet, e che possono quindi raggiungere utenti di vario tipo, con una distribuzione geografica ampia e varia e che permettono la condivisione del messaggio e il dialogo con l'azienda creatrice del messaggio iniziale. Tra questi si possono vedere i social network (Facebook, Twitter, LinkedIn, Google +), siti Web e Blog, l'impiego di banner sul sito Web, l'attuazione di campagne SEO per rendere visibili i contenuti del sito, attività di email marketing per fidelizzare i clienti e campagne a pagamento [41].

1.4.1 XR - Extended Reality

GENESIS OF EXTENDED REALITY



Appurato che il BIM, inteso come digital twin, può essere inteso come un'estensione della realtà, è necessario analizzare e comprendere a cosa ci si riferisce con il termine "realtà estesa". Con il termine XR [28], dall'inglese *Extended Reality* ovvero realtà estesa, si intendono le diverse interazioni reali, virtuali e umane tramite tecniche e tecnologie tipiche dell'industria ICT (*Information and Communication Technology*) (FIG 1.4.1.a). Di questa fanno parte la realtà virtuale (VR), la realtà aumentata (AR) e la realtà mista (MR) che si differenziano per livello di contenuto virtuale come mostrato in figura (FIG 1.4.1.b).

FIG. 1.4.1.a
Rielaborazione schema
"Genesis of Extended Reality"

	REALTÀ VIRTUALE	REALTÀ AUMENTATA	REALTÀ MISTA
Livello di contenuto virtuale/sintetico	alto	basso	medio
Livello di contenuto reale	basso	alto	alto
Livello di interazione	basso	medio	alto
Livello di immersione	alto	medio	medio

FIG. 1.4.1.b
Rielaborazione schema
comparazione delle tecniche di
realtà estesa

Le tecnologie XR si possono dividere in diverse categorie [10, 12, 21, 27]:

Realtà immersiva - la quale necessita di particolari tecnologie per immergere il fruitore in un IVE (*Immersive Virtual Environment*), una rappresentazione visuale tridimensionale dell'ambiente virtuale con aggiornamento della scena che segue la visuale del fruitore. Virtu Sphere (*FIG 1.4.1.c*), ad esempio, è un sistema composto da una sfera cava di tre metri di diametro poggiata su particolari sensori che recepiscono il movimento del fruitore, il quale è munito di visore e controller. Tendenzialmente vengono utilizzati visori come Oculus Rift o HTC Vive associati a controller, ma sono stati sviluppati sistemi per le simulazioni immersive in realtà virtuale che non ne prevedono l'uso. Cave2 (*FIG 1.4.1.d*) è un ambiente di approssimativamente sette metri di diametro e alto 2,4 composto da una moltitudine di schermi LCD, dove uno o più utenti possono interagire con l'ambiente;

FIG. 1.4.1.c
Dimostrazione
del simulatore
VirtuSphere al
MWTB, Ft Knox, KY

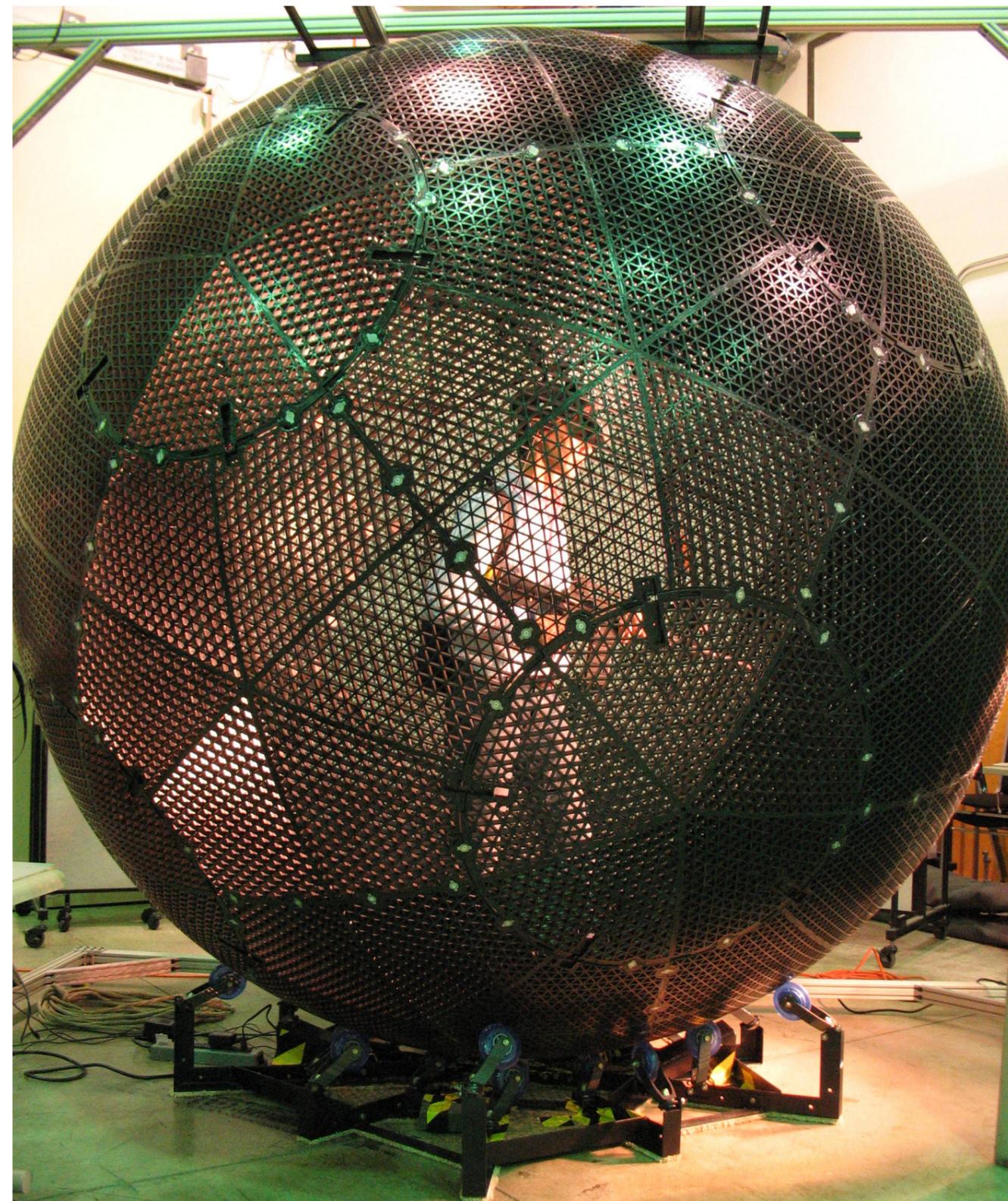




FIG 1.4.1.d
Esplorazione del
modello di una
nave spaziale in
Cave 2

VR desktop-based - in cui la maggior parte delle azioni può essere eseguita tramite mouse e tastiera, la visualizzazione avviene attraverso uno schermo. Questo sistema permette di evitare i costi in termini approvvigionamento delle tecnologie e di occupazione di spazi delle realtà immersive, garantendo un maggior numero di fruitori. Un esempio è dato dalla piattaforma Skills2learn (FIG 1.4.1.e);



FIG. 1.4.1.e
Schermata di
un corso della
piattaforma
Skills2Learn

VR mobile-based - la quale riprende i vantaggi del sistema basato sul desktop, ma aumenta la maneggevolezza in quanto i dispositivi sono più piccoli e permette una maggiore integrazione del mondo reale attraverso i sensori di cui i devices sono dotati. Un esempio emblematico, del mondo dei videogiochi, è quello di PokemonGo (FIG 1.4.1.f).



FIG. 1.4.1.f
 Pokemon GO,
 videogioco di tipo
free-to-play basato
 su realtà aumentata
 geolocalizzata con GPS.
 Sviluppatore Niantic

Questi sistemi hanno goduto di ampi sviluppi nel mondo dei videogiochi e in campo militare, ma recentemente sono stati adottati per diverse applicazioni:

- Business
- Costruzioni
- Educazione
- Film
- Ingegneria
- Intrattenimento
- Media
- Medicina
- Moda
- Paesaggio
- Scienza
- Sport
- Telecomunicazioni

Date le modalità di sviluppo delle tecnologie si parla di *serious games* riferendosi a tecnologie adottate per l'educazione, l'insegnamento, messaggi strategici, pianificazione di missioni e visualizzazioni scientifiche. In questi casi vengono sviluppati dei programmi, con applicativi per la creazione di videogiochi, come Unity 3D, Unreal Engine e Torque. Degli esempi di serious games sono riscontrabili in Virtual Heroes e Oil Rig Operator Training Simulator (FIG 1.4.1.g).

FIG. 1.4.1.g
Schermata di
Oil Rig Training
Simulation



L'adozione di queste tecnologie nell'industria dell'architettura e delle costruzioni è in crescita e caratterizzante nell'ambito progettuale delle Costruzioni 4.0 inserite nel contesto dell'Industria 4.0 [28]. Spesso l'impiego di XR è legato all'utilizzo del BIM, in quanto questo garantisce già una base di ambiente virtuale e garantisce un maggior numero di informazioni rispetto ad un modello tridimensionale. In quest'ottica gli usi delle XR [21] sono vari e spaziano dall'esplorazione virtuale, strumento adatto alla progettazione, alla condivisione, alla comunicazione e alla promozione dell'edificio, agli studi di fattibilità dell'opera. La simulazione delle costruzioni, la gestione del cantiere e la sicurezza sono altre applicazioni di questi sistemi che attraverso programmi di e-learning creati ad-hoc coinvolgono progettisti e lavoratori a ragionare sui temi della costruzione attraverso esperienze. Anche nella gestione dell'edificio si impiegano tecnologie di realtà estesa, le quali, sfruttando la possibilità di ricevere e modificare le informazioni di modelli BIM hanno permesso a Pavón, Alvarez e Albert nel 2020 di studiare un sistema informatizzato per la verifica della possibilità di ospitare lezioni all'Università Politecnica di Madrid durante la seconda ondata di COVID-19 in Spagna.

2 C
a s o S
t u d
i o



2.1

FIG. 2.1.a
Facciata del
Santuario della
Beata Vergine
del Trompone

Storia del santuario

Il santuario della Beata Vergine del Trompone, soggetto in analisi per questo progetto di tesi, è situato nel comune e nella parrocchia di Moncrivello, provincia e diocesi di Vercelli, ai piedi della "Collina di Miralta", dove sorge il piccolo "Santuario di Miralta" risalente al X secolo ed è stato eretto per celebrare un'apparizione mariana del XVI secolo.

Ad Ovest del santuario, a tre chilometri da esso, scorre la Dora Baltea, affluente settentrionale del Po che nasce in Valle d'Aosta dalla confluenza della Dora di Ferret. Il paese più vicino al santuario, sul lato occidentale, è il comune di Villareggia che, dista a meno di un chilometro facente parte della diocesi di Ivrea e della provincia di Torino, città che dista circa 40 km. A Est del Trompone, a 2 km, si trova invece il comune di Cigliano, il paese più importante della zona [8].

2.1.1 Apparizione mariana



Il santuario, come anticipato, è stato eretto in memoria dell'apparizione della Beata Vergine e del miracolo della guarigione di Domenica Millanotto, una donna ricurva (camminava a stento appoggiandosi ad un bastone), balbuziente e da sei anni gravemente ammalata del "mal caduco" (epilessia). Domenica Millanotto vide la Beata Vergine Maria sul tronco di un castagno potato da tutti i rami, in dialetto locale "trumpa" ("trumpone", trompone, per le dimensioni del tronco), e così decisero di fondare il santuario e chiamarlo con il nome in dialetto dell'albero .

Su un dipinto presente nella prima chiesetta che fu costruita nel luogo dell'apparizione, raffigurante la Beata Vergine con la veggente, viene riportata una scritta rilevata in calce: "Principio di questa devota fabbrica fu miracolo

fatto nella persona di Domenica Millanotto di Cigliano, essa era gobba, balbuziente e cascava del male caduco e ritrovandosi in questo luogo dove non c'erano abitazioni e case, le apparve la gloriosa Vergine in splendore e fu liberata dalle tre dette infermità". Nonostante sul dipinto vi sia segnata la data "26 giugno 1562" non si riconduce ad essa il giorno dell'apparizione perché dalle fonti risulta che avvenne con tutta probabilità il 2 aprile 1559, domenica in Albis.

La prima fonte che attesta l'apparizione è costituita dalla costante tradizione diffusasi tra la popolazione dei borghi circostanti, ma anche più lontani, come Rivoli, Palestro, Carignano... Dai centri abitati la gente accorse al luogo del miracolo come ad una sorgente di grazie. Nell'agosto 1559, nel luogo dell'apparizione fu celebrata una messa su un altare mobile e al termine fu posata la **prima pietra** per la costruzione di una chiesa di dimensioni modeste. La costruzione della chiesa venne autorizzata da Bolla Pontificia emessa nel 1562 da Papa Pio IV, dove veniva riconosciuta la guarigione della donna e veniva concessa l'indulgenza plenaria a tutti i fedeli che si fossero confessati annualmente nella chiesa del Trompone nel periodo di tempo che intercorre tra primi e i secondi vesperi della domenica in Albis, ancora oggi riconosciuta come Festa del Trompone [8].

FIG. 2.11.a
Nella pagina
accanto.
Rappresentazione
della Vergine con
bambino

2.1.2 Costruzione della rotonda

Autorizzato dalla Bolla Pontificia del 1562, il marchese Cesare Majo, assunse la responsabilità di realizzare la costruzione del santuario nel 1563, limitato allora alla "Rotonda", un edificio circolare sormontato da una volta. I lavori si conclusero e nel 1568. La Rotonda, ancora presente nella struttura è alta 22 metri, con diametro di 10. La cupola è sormontata da una lanterna coperta da un tiburio poligonale di 20 lati, ognuno dei quali sostiene un piccolo arco che protegge la cupola, coperta da quadrelle di laterizio di 20 cm di lato. Nel progetto originario la Rotonda, essendo essa stessa la chiesa, presentava una facciata che venne però eliminata quando, nel 1583, furono costruiti i due altari laterali [8].

FIG. 2.1.2.a
Visione interna della cupola del santuario





FIG. 2.1.3.a
Vista interna
centrale del
santuario
dall'abside

2.1.3 Costruzione del santuario

Constatata l'insufficienza della Rotonda ad accogliere i numerosi pellegrini, si pensò ad una costruzione più grande incaricando così l'ingegnere Melchiorre Piantino.

Nel 1595 furono gettate le fondamenta del santuario: tre navate, quella centrale collegata con la Rotonda, le due laterali a concludersi con due nicchioni, con altare.

Le navate erano separate da otto colonne di pietra, con l'aggiunta di altre quattro incassate rispettivamente al fondo della Rotonda. La costruzione si protrasse per diversi anni. L'**attuale facciata** fu aggiunta nel 1716, e due anni dopo i Marchesi di Mocrivello e "Del Carretto" di Gorzengo donarono l'altare maggiore.

Il complesso è solenne e raccolto, la facciata alta 20 metri e larga 15, con portico, si leva serena e forte. La chiesa a tre navate è ariosa ed elegante, gli archi a tutto sesto sembrano invitare verso l'altare maggiore, le volte sono a crociera, le finestre trilobate.

Il santuario venne consacrato il 13 ottobre 1781 dal vescovo Gaetano Costa d'Arignano e dedicato alla Madonna con titolo "Beata Vergine degli Angeli" [8].

2.1.4 Il Convento

Autorizzato dalla Bolla Pontificia del 1562, nel 1627 fece ingresso al Trompone una comunità dei Minori, francescani della Provincia di Torino, erigendo una croce. Fu redatto uno scritto tra i frati e il vescovo Giacomo Gorla che concedeva ai francescani l'uso delle abitazioni esistenti, mentre la proprietà rimaneva della mensa vescovile di Vercelli.

I Minori dettero impulso al culto, all'accoglienza dei pellegrini e videro subito la necessità di ampliare a loro volta il complesso costruendo un convento per la loro abitazione e per l'accoglienza. Potendo contare solo sulle offerte e le donazioni dei fedeli l'**ampliamento** durò un ventennio. Curarono il decoro della chiesa, dedicarono i due altari laterali della Rotonda a San Francesco e a Sant'Antonio, eressero davanti al santuario una Via Crucis su 14 piloni in muratura, costruirono il coro (l'attuale sacrestia) e provvidero la chiesa di campane.

2.1.5 Le chiusure del Trompone

Con l'invasione prima delle truppe austriache e poi dell'esercito di Napoleone Bonaparte si venne a turbare la pacifica convivenza in Piemonte. Con il decreto del 28 termidoro ,16 agosto 1802, furono soppressi i conventi e ordinato il sequestro dei loro beni, fra questi anche il convento del Trompone. I francescani dovettero abbandonare il luogo e solo nel 1807 gli edifici furono restituiti alla diocesi riconoscendone la proprietà. Le strutture furono ritrovate saccheggiate e in stato di abbandono. Nel convento, che doveva servire come casa di esercizi spirituali per sacerdoti, trovarono casa i Cistercensi che avevano dovuto abbandonare il santuario della Consolata di Torino.

L'usufrutto della struttura da parte dei monaci durò quarant'anni, dal 1827 fino a che, nel 1855, con legge del 29 maggio, furono soppressi, nel Regno di Piemonte e di Sardegna, gli ordini

e le congregazioni religiose non dedicate all'insegnamento. Per un'altra decina di anni, i Cistercensi rimasero come dipendenti per la cura del santuario, ma dovettero lasciarlo quando nel 1866 i beni delle diocesi furono incamerati dallo Stato. I beni del Trompone pertanto, tranne il santuario, divennero proprietà dello Stato. Seguì un'occupazione da parte dei soldati che misero a soqquadro la struttura.

Partiti i soldati, il governo pensò dapprima di usare il convento come casa di salute. L'idea non si realizzò e il complesso venne messo all'asta, acquistato dal signor Giuseppe Voglino di Santhià nel 1869 [8].



FIG. 2.1.6.a
Vista delle
due ali del corpo
del seminario

2.1.6 Il seminario minore di Vercelli

Canetti. Il progetto di Canetti era di grande respiro, oltre ai due palazzi poi realizzati prevedeva altre due ali, a est e a ovest del santuario. Dal 1885 il nuovo edificio iniziò ad accogliere le nuove classi. Furono abbattute le stazioni, ormai tutte in rovina, della Via Crucis davanti al santuario e dopo un'interruzione dei lavori che si protrasse per diversi anni, anche a causa della morte dell'arcivescovo, il progetto venne ridimensionato. Nel 1891 venne iniziata la costruzione della seconda parte del palazzo, di dimensioni più contenute ma il progetto complessivo non fu mai completato.

Nel 1880, l'economista del seminario, don Giovanni Bodo, acquistò il convento dalle eredi di Voglino, e ne fece donazione all'arcivescovo monsignor Fissore che decise di aprirvi una **casa di esercizi spirituali per sacerdoti**. Don Bodo ricordando le antiche indicazioni del cardinale Borromeo nella sua visita alla chiesa del Trompone, volle suggerire all'arcivescovo monsignor Fissore di aprire un seminario. Così nel 1881 fu annunciata alla diocesi l'**apertura del seminario minore**, trasferendo da Vercelli la scuola preparatoria e la prima ginnasiale e trasformando in dormitorio la galleria che fiancheggiava la chiesa.

I locali non erano sufficientemente capienti per ospitare le classi di ginnasio, si venne così alla determinazione di costruire un nuovo ambiente, incaricando l'ingegnere Vincenzo

Tra la fine della prima decade del Novecento e l'inizio della seconda, grazie a Teodoro Ernesto Valfrè, venne restaurato il campanile, dotato di tre nuove campane, venne ripristinato il cortile del convento, il complesso fu dotato di illuminazione a gas, vennero sostituiti gli altari in legno con due in marmo e vennero ornate le finestre con vetri colorati. Durante gli anni della guerra nella struttura nel Trompone ebbe sede anche il ginnasio superiore fino a che tornò ad avere lezione nel 1927 quando ormai la struttura aveva un impianto di illuminazione elettrica. Negli anni Trenta seguirono l'impianto telefonico e quello di riscaldamento a termosifoni. Il seminario venne **chiuso** nel 1970 per riunire i seminaristi, che dopo il boom nel dopoguerra, erano sempre meno, con quelli che frequentavano al seminario magg. di Vercelli [8].

2.1.7 I Silenziosi Operai della Croce e la casa di cura

Dopo la chiusura del seminario nel '70, dall'incontro del monsignor Luigi Novarese, fondatore dei Silenziosi Operai della Croce (SOdC), e dell'arcivescovo monsignor Albino Mensa, nacque il progetto per una struttura riabilitativa al Trompone. Venne così trasferita l'attività che i SOdC gestivano ad Arco di Trento, gestendo corsi di qualificazione professionale per handicappati fisici. Il complesso fu dapprima affidato in comodato e successivamente donato (ad eccezione del Santuario) all'Associazione dei Silenziosi Operai della Croce che vi ha svolto corsi educativi e di formazione fino al 1998.

Alla fine degli anni Novanta si rese necessaria la trasformazione in un **Centro per la riabilitazione fisica** in fase sub acuta. A questo scopo l'Associazione dei SOdC ha ristrutturato

due piani del preesistente seminario per trasformarli in reparti capaci di accogliere i degenti adeguando i locali alle esigenze della nuova attività. In anni successivi la necessità di rendere maggiormente adeguata la struttura ed il desiderio di ampliare la struttura hanno portato alla **costruzione del nuovo Centro** di fronte al Santuario, inaugurato nell'ottobre 2006 [8].

Inizialmente è stato istituito un bando dalla Cassa di Risparmio di Torino alla quale la diocesi di Vercelli ha proposto il complesso del Trompone. Per l'intervento vi sono più enti co-finanziatori tra cui la CEI (Conferenza Episcopale Italiana).



FIG. 2.1.7.a
Casa di Cura Mons.
Luigi Novarese,
Trompone,
Moncrivello



FIG. 2.1.7.b
Vista interna
dalla navata
centrale Beata
Vergine del
Trompone



2.2

FIG. 2.2.a
Vista dall'alto
di parte del
complesso del
Trompone

Il modello BIM del Trompone

Come anticipato nell'introduzione il lavoro di tesi non ha compreso la totale modellazione del file .rvt legato alla copertura del santuario del Trompone, bensì la modifica e adattamento della struttura alle condizioni rilevate in fase di cantierizzazione e alla revisione completa delle opere provvisionali.

Il Politecnico di Torino da anni si occupa della struttura e, dal 2017, **diversi tesisti e ricercatori** hanno collaborato, attraverso l'impiego di tecnologie innovative, alla restituzione dell'intero complesso in BIM.

2.2.1 Prime versioni

Il rilievo necessario alla composizione del primo modello del complesso è stato realizzato tramite l'acquisizione di fotografie, elaborati tecnici digitali prodotti manualmente e nuvole di punti realizzate tramite rilievo fotogrammetrico e con laser scan LIDAR. La documentazione appena descritta è stata associata al CDE (*Common Data Environment*), definito dalla norma italiana UNI 11337:5 "ACDat", per esteso, Ambiente di Condivisione Dati. Seguendo lo standard inglese PAS 1192:2014, che stabilisce la metodologia per gestire produzione, distribuzione e qualità delle informazioni legate alla costruzione, il CDE è stato suddiviso in diverse cartelle: *WIP (Work In Progress)*, *Shared*, *Published* e *Archive*; in modo da permettere la **condivisione dei dati** tra i vari operatori e da tenere traccia e scandire le fasi di lavoro.

Dopo diverse ipotesi sul sistema di condivisione, il gruppo di lavoro iniziale ha optato per utilizzare il sistema dei modelli linkati in modo che ogni componente potesse modellare un lotto del complesso. In seguito, ogni modello è stato diviso, quando possibile, in tre file linkati tra loro, in modo che ogni file rappresentasse una distinta disciplina, dunque, architettonico, strutturale e impiantistico. Attraverso questo sistema di condivisione si vedono le diverse discipline formare i progetti individuali che congiuntamente compongono il modello centrale del complesso nella sua interezza [12, 18, 22].

Terminato il lavoro del primo gruppo di tesisti, nel 2019, nella stesura della tesi magistrale "HBIM, Realtà Virtuale e Aumentata a supporto della condivisione del modello BIM Social del

santuario del Trompone" l'architetto Brukku e l'architetto Cigliutti hanno rilevato ulteriormente e, quindi, incrementato il dettaglio del modello della chiesa. Il loro apporto al modello della chiesa è concentrato maggiormente all'interno per restituire con maggiore fedeltà l'ambiente nell'ottica di elaborare un **modello social**, con un forte intento comunicativo, che potesse essere visitato virtualmente. Il file, dunque presenta un elevato dettaglio di rappresentazione geometrica, informazioni legate al degrado delle componenti e presenta parte dell'apparato pittorico sotto forma di texture.

2.2.2 Versione più recente

La versione più recente del modello della chiesa è frutto del lavoro di Alessio Mattia, il quale occupandosi della gestione del cantiere della copertura ha apportato delle modifiche sostanziali. Durante il suo operato, in prima battuta, è stata separata la chiesa dal modello centrale dell'intero complesso, in secondo luogo sono stati definiti tre *workset*: architettonico, strutturale e arredo. La geometria del contesto preesistente è stata ridotta alla sola volumetria e sono state eliminate le famiglie non utilizzate al fine di ridurre il peso del file. È stato modellato il sistema strutturale della copertura composto da travi e capriate, il manto di copertura, il solaio del sottotetto, sono state aggiunte le grondaie e tutte le attrezzature di cantiere (Gru, recinzioni, ponteggi, ecc.). Nello specifico il solaio sottotetto è stato modellato come

controsoffitto perché, essendo un solaio sopra-volta presentava una composizione più simile a quella della famiglia di sistema "Controsoffitto composto" che ad una di "Pavimento". Per un maggiore controllo dello sviluppo del cantiere sono state inserite nuove fasi, nominate: Stato di Fatto, Rimozione, Consolidamento, Posa, Allestimento Cantiere, Smobilizzo Cantiere.

Nella realizzazione del modello di cui sopra, sono stati impiegati diversi livelli di dettaglio grafico (LOG) e informativo (LOI): le attrezzature di cantiere e la carreggiata presentano LOG D e LOI D, mentre gli elementi modellati *ex-novo* presentano LOG E e LOI F. Mentre per le attrezzature di cantiere la norma UNI 11337 non richiede un livello di dettaglio (LOD) eccessivo: A, C, D, o E; per le componenti edilizie in materia di restauro conservativo la richiesta è LOD F. I motivi per i quali non sono stati modellati i nuovi elementi dettagliatamente dal punto di vista geometrico sono stati: l'impossibilità di effettuare sopralluoghi necessari a determinarne la geometria effettiva e il fatto che non vi sussistesse la necessità ai fini della gestione del progetto.



2.3

FIG. 2.3.a
Vista sul
cantiere dalla
rotonda

Il cantiere di restauro

ciascun santuario, di cui circa l'80% volto agli interventi di recupero, circa il 15% per iniziative culturali e sociali e circa il 5% per il raddoppio delle donazioni raccolte da una campagna di raccolta fondi [61]. Così il Politecnico di Torino e l'Ufficio dei Beni Culturali di Vercelli si affiancano al santuario come partner culturali e l'associazione dei Silenziosi Operai della Croce occupa il ruolo di partner sociale.

Da un incontro fortuito in stazione tra l'ingegner Tabacchi (Ingegnere dell'Ufficio dei Beni Culturali di Vercelli) e la professoressa Osello (docente al Politecnico di Torino), e dalla loro comune attenzione nei confronti della struttura del santuario del Trompone è sorta la volontà di farlo partecipare al progetto **"Santuari e Comunità"** lanciato da Fondazione CRT, progetto che, come afferma il Presidente della Fondazione CRT Giovanni Quaglia, *"[...]vuole valorizzare i santuari come luoghi di coesione, aggregazione e ricostruzione di relazioni nella comunità: un obiettivo doppiamente importante in questo momento storico, segnato dalla frammentazione e dallo sfilacciamento sociale"*. La fondazione, in questo ambito, ha previsto lo stanziamento complessivo di 4 milioni di euro, con un contributo massimo di 250.000 euro per

Il Santuario presentava degrado sulla facciata, ammaloramenti della cantoria lignea e infiltrazioni ed altro degrado all'interno della controfacciata e l'organo necessitava di manutenzione. La copertura risultava danneggiata dagli eventi atmosferici, dalla presenza di guano e volatili e da scarsi o inadeguati interventi precedenti di manutenzione. Il degrado delle superfici voltate della chiesa, visibili principalmente nelle navate laterali, si presentava come diretta conseguenza delle infiltrazioni delle acque meteoriche attraverso la copertura e le strutture portanti in muratura. Grazie alla partecipazione al progetto di Fondazione CRT, ai contributi dell'8xmille alla Chiesa Cattolica (CEI) e da fondi provenienti dalla Fondazione CRV è stato possibile avviare il progetto di restauro conservativo del santuario.

2.3.1 Organizzazione del cantiere

Bensì necessitassero di manutenzione sia la copertura che la facciata e la controfacciata si è optato per dividere i lavori in due cantieri, uno per la copertura e l'altro per facciata del santuario, controfacciata, cantoria e organo. L'emergenza sanitaria, COVID-19, ha fatto slittare la data di inizio lavoro e anche i fondi sono stati posticipati, permettendo l'**inizio dei lavori** a metà **febbraio 2021**. Le lavorazioni sono iniziate con ritmi più sostenuti per la copertura, mentre per la facciata gli sforzi sono stati concentrati in un secondo momento in modo da evitare sovrapposizioni e da poter sfruttare temperature più miti.

I lavori sono stati assegnati ad una ditta specializzata in interventi di restauro architettonico e ristrutturazione, qualificati all'esecuzione di attività archeologiche

con particolare esperienza in fabbriche ecclesiastiche. Per il cantiere di restauro della copertura sono state subappaltate le opere architettoniche e quelle strutturali ad un'impresa specializzata in coperture, mentre le opere provvisorie ad una specializzata in ponteggi. La prima impresa, quella che si occupa della copertura, ha disposto indicativamente sei operai suddivisi in due squadre, mentre per i ponteggi è stata chiamata al lavoro una squadra composta da cinque operai. Queste indicazioni relative alla forza lavoro sono state rispettate nello sviluppo di questo lavoro di tesi.

Le lavorazioni si sono svolte con l'intento di lasciare sempre **coperto** il santuario **a fine giornata**, in modo da mantenere protetti il sottotetto e la struttura dagli agenti atmosferici.

Bensì, in cantiere, talvolta quest'obiettivo è stato raggiunto tramite l'impiego di teloni, nell'adozione del caso studio è stato fondamentale come ragionamento quello di riuscire a garantire l'esecuzione di tutte le lavorazioni in una porzione di copertura all'interno dell'arco di una giornata lavorativa.

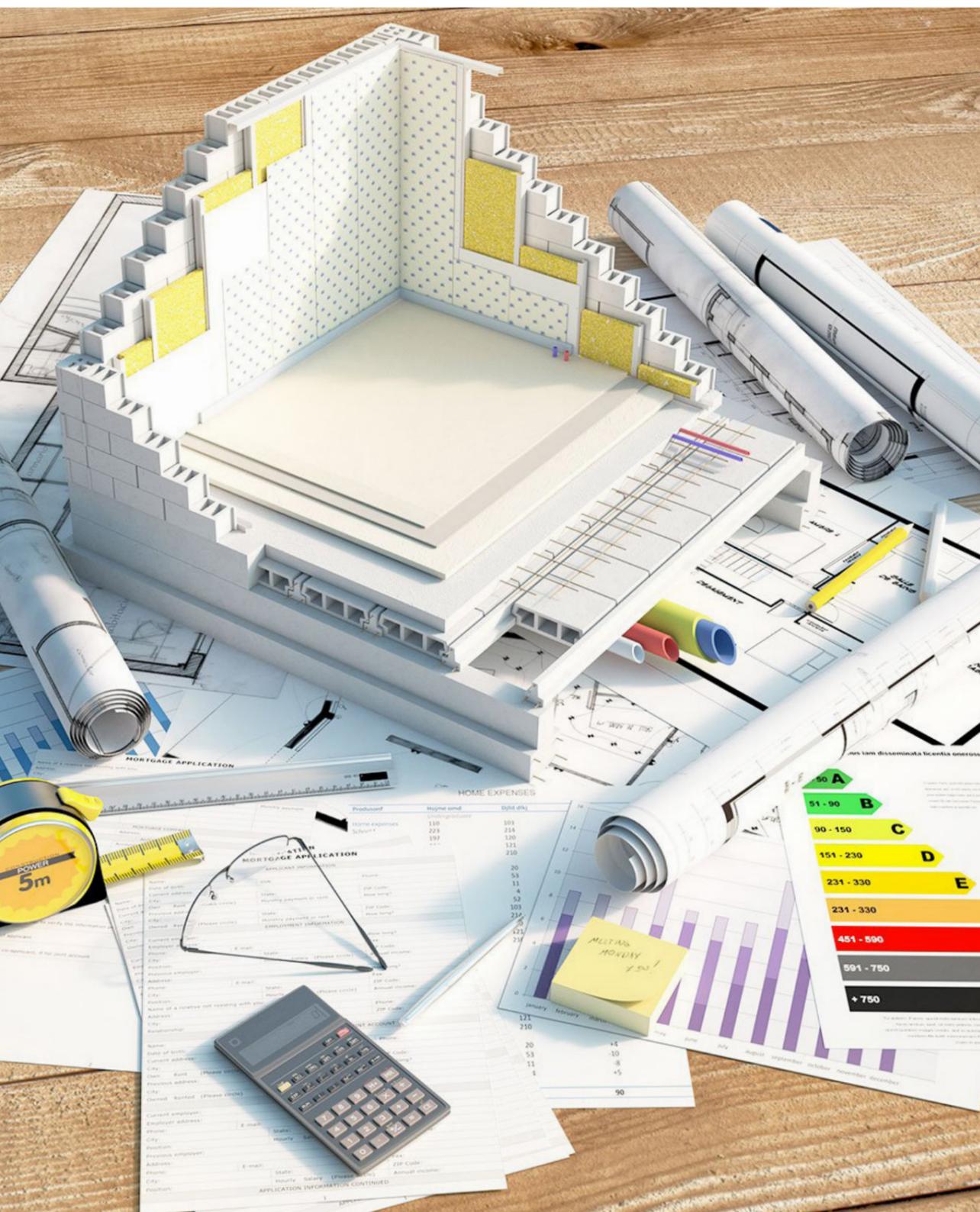
2.3.2 Cantiere e COVID-19

Per far fronte all'indeterminatezza del termine della difficile situazione sanitaria provocata dalla pandemia, l'ufficio Diocesano per i Beni Culturali Ecclesiastici e l'Edilizia di Culto ha aggiunto alla documentazione che generalmente redige, documenti "COVID". Dunque, al PSC (Piano di Sicurezza e Coordinamento), Regolamento di Cantiere e al Fascicolo dell'opera si affiancano dei documenti specifici per la gestione dell'emergenza sanitaria in cantiere, in modo che in caso di uscita dalla pandemia non fosse necessario rivedere la documentazione ordinaria. Sfruttando la presenza continua di sanitari e la prossimità con la struttura sanitaria dei Silenziosi Operai della Croce l'applicazione delle misure anti COVID-19 ha comportato minori problematiche rispetto che in un analogo cantiere di restauro conservativo, in quanto i lavoratori impiegati nel cantiere accedono dal triage presente nella struttura sanitaria.



FIG. 2.3.2.a
Vista del cantiere
dalla facciata

3
M e t o
d o l o g g i a



3.1

Modello federato

FIG. 3.1.a
Foto
rappresentativa
di una
costruzione

In ambiente BIM, a prescindere dalla dimensione del progetto, che sia di piccola, media o grande entità, risulta fondamentale la determinazione di un metodo di **condivisione** delle informazioni del modello che possa permettere un'adeguata collaborazione da parte dei membri del team di progettazione. Sono proprio la condivisione e lo scambio dei dati che derivano da questa metodologia a definire, rispetto al metodo tradizionale, un diverso approccio progettuale e la creazione di specifici documenti utili a soddisfare il processo di coordinamento. Uno fra i più importanti è il cosiddetto **"modello federato"**, cioè un modello digitale generato dal collegamento e integrazione di più modelli insieme, i cosiddetti **"links"**, ognuno dei quali relativo a una specifica disciplina [52]. Il modello BIM viene dunque spaccettato in più documenti facenti parte il medesimo progetto, i quali si sviluppano nel tempo e si interfacciano tra loro senza però una reale integrazione tra i diversi dati.

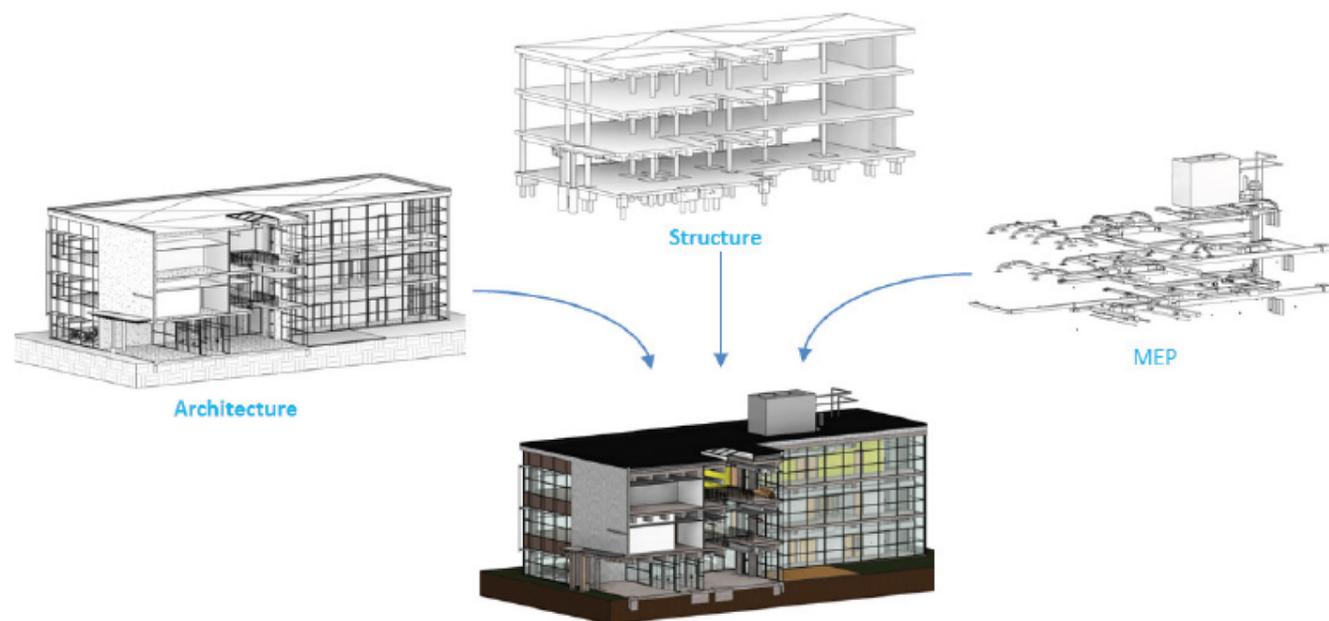


FIG. 3.1.b
Schema concettuale del
modello federato BIM

La figura (FIG 3.1.b) delinea lo schema concettuale di un modello federato di coordinamento contenente le diverse discipline. L'utilizzo dei collegamenti permette dunque di avere diversi modelli all'interno di uno solo. Questo significa che ogni utente condivide i dati aggiornati del proprio file di modello senza però controllare gli aggiornamenti degli altri utenti. In questo modo viene sviluppata un'**area condivisa**, ossia una piattaforma comune in cui ogni singolo professionista può caricare la nuova versione del suo lavoro durante l'intero processo di progettazione.

Partendo dal modello federato è poi possibile creare delle viste composite pluridisciplinari, con la possibilità aggiuntiva di gestire i collegamenti dei diversi modelli divisi per disciplina e rilevarne eventuali incongruenze. Nel file di coordinamento tutti gli oggetti sono resi non modificabili ma solamente interrogabili permettendo una visione completa del progetto.

È importante sottolineare che, quando un membro del team di lavoro collega un modello contenente al suo interno altri modelli collegati, essi diventano "**nidificati**", con la possibilità di essere visualizzati o nascosti nel modello *host* (di coordinamento). Al suo interno, i collegamenti nidificati possono essere diversamente visualizzati in base alle diverse impostazioni del tipo di riferimento [3, 4]:

- **Overlay** (sovrapposizione), quando i modelli nidificati non vengono caricati e di conseguenza non è possibile visualizzarli;
- **Attachment** (associazione), quando i modelli nidificati vengono caricati e visualizzati nel modello host.

L'unione, favorita dal potente strumento dei collegamenti, comporta una perfetta visualizzazione di tutte le discipline in rapporto tra loro. Grazie anche alla versatilità dello strumento, inoltre, si ha la possibilità di controllare, modificare e gestire i dati, le informazioni, le geometrie da visualizzare e le modalità con cui farlo, compresi colori, stili linea, ecc. L'integrazione dei dati relativi alle diverse discipline favorita dal modello federato offre dunque molteplici **vantaggi**, i

più importanti sono: l'ottimizzazione dei **flussi di scambio informativo**, soprattutto perché gli elementi nel modello sono recepiti come un unico elemento non modificabile e quindi il modello risulta molto più leggero; ma anche **l'agevolazione nell'uso di differenti software**, invece di essere vincolati all'utilizzo di un solo ambiente di modellazione.



3.2

FIG. 3.2.a
Immagine
evocativa
tecnologia e
processi

Workflow operativo

La creazione e gestione dell'informazione relative al progetto, a partire dalla realizzazione, l'analisi e valutazione di tutto il ciclo di vita di un manufatto, hanno un valore maggiore rispetto all'immediato utilizzo legato al progetto stesso, in quanto molto costose e costantemente esposte ad un inevitabile errore di decadimento qualora non fosse correttamente utilizzata e condivisa. Per cui, la metodologia BIM richiede una corretta definizione degli **obiettivi** e dei **flussi di lavoro** comuni a favore dello sviluppo di team efficienti e di un'adeguata condivisione delle informazioni del modello: il team di lavoro, infatti, deve innanzitutto comprendere l'utilizzo futuro delle informazioni che si stanno sviluppando, sapere cosa modellare (o non modellare), cosa scambiare (o non scambiare) e quando scambiarlo.

Il fine ultimo è proprio quello di creare un modello informativo ricco ma ben strutturato in maniera tale da essere modificabile e gestibile in ogni fase senza difficoltà da ogni responsabile di ogni disciplina.

Raggiungere dunque un'ottima comprensione comune degli strumenti, dei processi e dei protocolli di modellazione e condivisione più funzionali è fondamentale.

Di seguito verrà presentato il percorso metodologico adottato durante l'interno progetto di tesi e per il raggiungimento degli obiettivi preposti; verranno inoltre evidenziati i **risultati** raggiunti grazie all'interoperabilità tra i software e messi in risalto i limiti degli stessi.

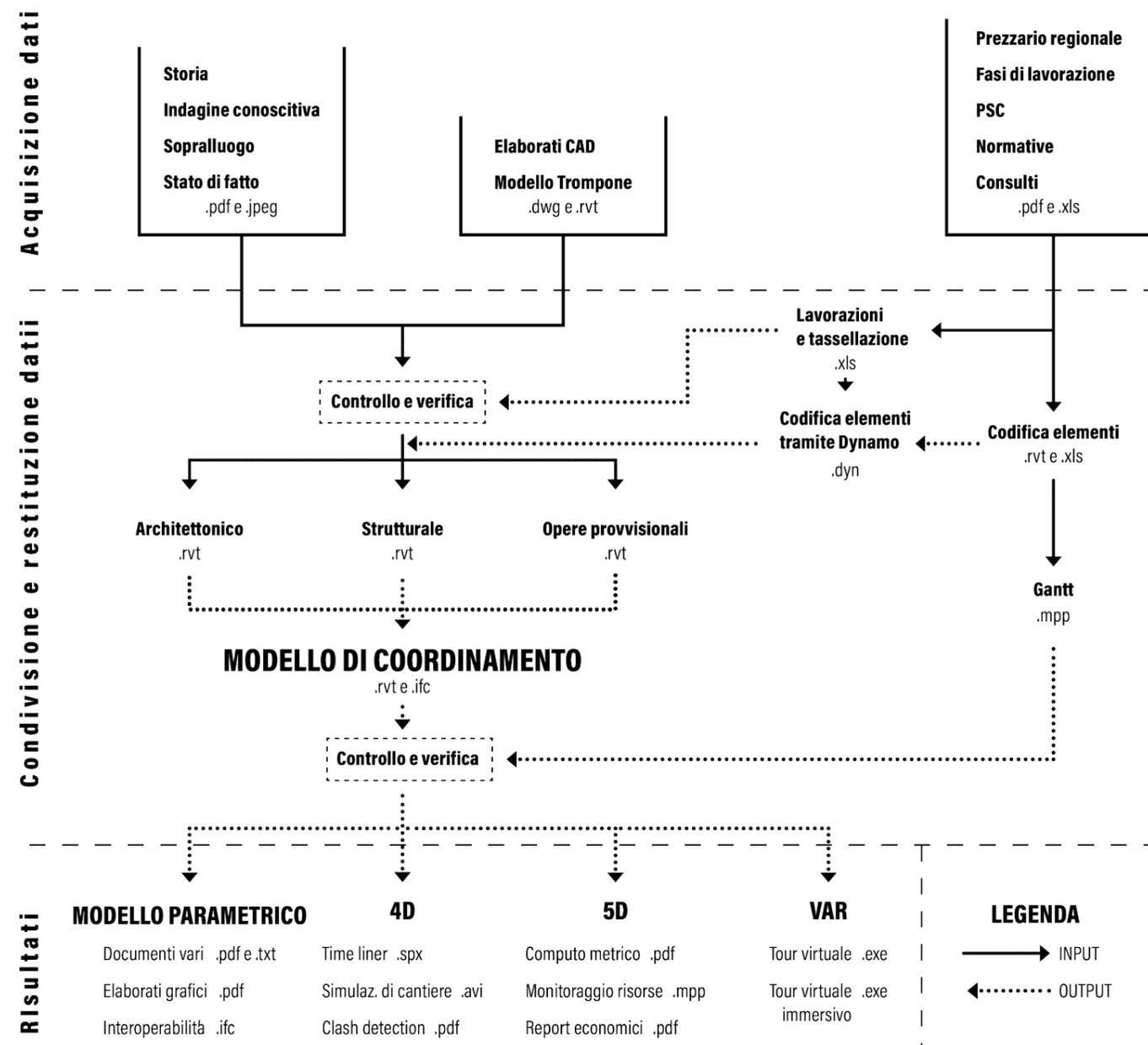


FIG. 3.2.b Schematizzazione del workflow operativo

La metodologia utilizzata si basa su una sequenza di 3 macro-fasi:

- **Acquisizione dati;**
- **Condivisione e restituzione dati;**
- **Risultati.**

Tutte le fasi includono una serie di eventi, attività, documenti, dati e gateway che descrivono una progressione logica per chiarire e definire gli obiettivi di progetto e il flusso di lavoro adottato (FIG 3.2.b).

La prima fase di **acquisizione dei dati** concerne la parte di ricerca e raccolta di tutto il materiale e le informazioni necessarie. Partendo dall'**indagine** storica e conoscitiva dell'edificio si è proceduto con un **sopralluogo** per

verificarne le condizioni attuali e l'operatività del cantiere in atto. In parallelo sono stati consultati e raccolti documenti e informazioni quali il prezzario regionale, le normative di riferimento e, grazie ad un rapporto diretto con i principali attori coinvolti è stato possibile reperire anche diversi documenti di dettaglio, ad esempio il PSC.

Segue la fase di **condivisione e restituzione dei dati**, in cui viene creato il modello BIM del santuario del Trompone attraverso l'utilizzo del software Autodesk Revit. È stato innanzitutto deciso di procedere con la creazione del cosiddetto **modello federato**, scegliendo quindi di scomporre quello che poteva essere un unico modello BIM in tre modelli distinti relativi alle differenti modellazioni suddivise per disciplina (architettonico, strutturale, opere

provvisionali), i quali saranno poi collegati all'interno del modello di coordinamento che, al termine poi della fase di modellazione, costituirà una rappresentazione digitale completa dell'opera integrante tutti i campi di competenza.

Una volta conclusa la modellazione di tutti gli elementi necessari alla successiva pianificazione operativa del cantiere, si è avanzato con la definizione della cosiddetta **WBS** (*Work Breakdown Structure*) la quale permette di avere un elenco di tutte le attività del progetto. Dopo di ch , grazie all'utilizzo del software Dynamo, un linguaggio di programmazione che consente la pianificazione attraverso la manipolazione grafica degli elementi (nodi), sono stati compilati i codici precedentemente definiti, necessari al collegamento successivo degli elementi parametrici 3D e le rispettive attivit  di WBS.

A questo punto, il modello BIM di coordinamento risulta ultimato con al suo interno le seguenti informazioni:

- famiglia e tipo di elementi, con il relativo conteggio;
- propriet  geometriche e materiche degli oggetti;
- codici identificativi.

Fondamentale   stata la realizzazione del **cronoprogramma** dei lavori attraverso l'utilizzo di MS Project, strumento largamente utilizzato nell'ambito della gestione dei progetti, in modo da visualizzare la durata di esecuzione di ogni attivit  di progetto.

A questo punto del lavoro, si   potuto procedere con l'estrapolazione di tutte le informazioni necessarie per la loro elaborazione nell'ultima fase di visualizzazione dei **risultati**, i quali rispondono correttamente agli obiettivi prefissati, ossia: elaborati grafici, simulazione **4D** di cantiere, rilevamento delle interferenze umane, **5D**, realt  virtuale ed aumentata. In merito alla pianificazione 4D verranno inoltre evidenziati i principali motivi per cui il suo utilizzo risulta utile all'interno di un progetto BIM.



3.3

FIG. 3.3.a
Immagine
evocativa di
tecnologia e
costruzioni

Impostazioni del modello federato

Come già detto nel precedente capitolo "Workflow operativo", la modellazione è stata effettuata con il software Autodesk Revit 2020. Sin da subito, per vari motivi tecnici e operativi, ma anche per una maggiore comodità di gestione si è scelto di non lavorare in un unico modello (come spiegato nel capitolo del *workflow*), anche perché le dimensioni del file sarebbero state sicuramente troppo grandi, per cui impossibili da gestire. La prima preoccupazione infatti è stata quella di ragionare sul come strutturare e organizzare l'unione di tutti i modelli inerenti alle diverse discipline che andranno a comporre il progetto finale:

- **Modello strutturale:** modello contenente tutti gli elementi strutturali del Santuario, come i pilastri, le travi primarie e secondarie, i solai strutturali, ecc.
- **Modello delle opere provvisionali:** modello comprendente tutte le attrezzature e le macchine di cantiere, come le carreggiate, i ponteggi, i parapetti di sommità e le aree di stoccaggio.
- **Modello di coordinamento:** è un modello vuoto, senza alcuna entità direttamente creata e modellata al suo interno; prevede poi l'inserimento e assemblamento di uno o più modelli esterni, sia concettualmente che graficamente, per una corretta visualizzazione delle diverse entità in relazione tra loro.
- **Modello architettonico:** modello contenente tutte le componenti relative alla disciplina architettonica, come per esempio i muri, i tetti, le partizioni non strutturali, le controsoffittature, i pavimenti, ecc.

Il primo passaggio è stato quello di creare un file di progetto vuoto nel quale sono state innanzitutto stabilite le **coordinate**. Le quali sono essenziali per una corretta corrispondenza spaziale tra i vari modelli, grazie alla condivisione della medesima posizione geografica, il punto di origine, l'orientamento e l'angolazione del nord di progetto. Dato che nel file architettonico erano già state impostate da altri studenti, avendo in precedenza lavorato sullo stesso caso studio, si è proceduto con l'importazione delle coordinate in esso presenti nei restanti due file locali (strutturale e opere provvisionali) ed anche nel file di coordinamento. L'importazione delle coordinate da un progetto preesistente è possibile grazie a pochi semplici passaggi: una volta aperto il modello architettonico, infatti, è bastato recarsi nella sezione "gestisci" in modo da poter utilizzare il comando "pubblicazione coordinate" (FIG 3.3.b), il quale garantisce la loro condivisione una volta che si è proceduto con il collegamento. Per cui, aprendo il modello strutturale è stato sufficiente cliccare nella specifica funzione "acquisisci coordinate", sempre nella sezione "gestisci": in questo modo, le coordinate impostate nel modello architettonico sono state acquisite dal modello strutturale nel momento in cui è stato in esso linkato. L'operazione è stata medesimamente ripetuta per gli altri due file di progetto, cioè quello delle opere provvisionali e il modello di coordinamento ancora vuoto.

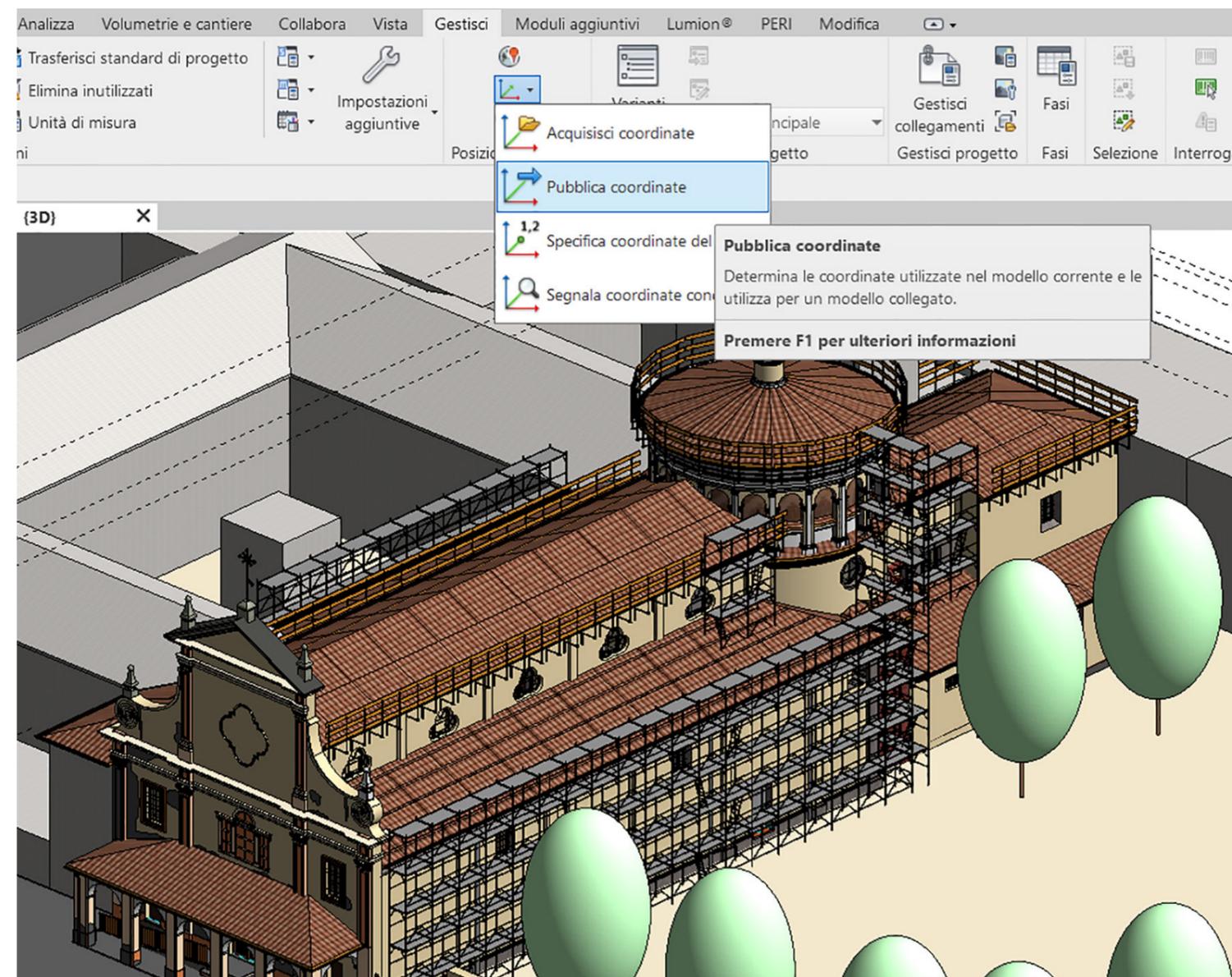


FIG. 3.3.b
Acquisizione
coordinate da
Revit

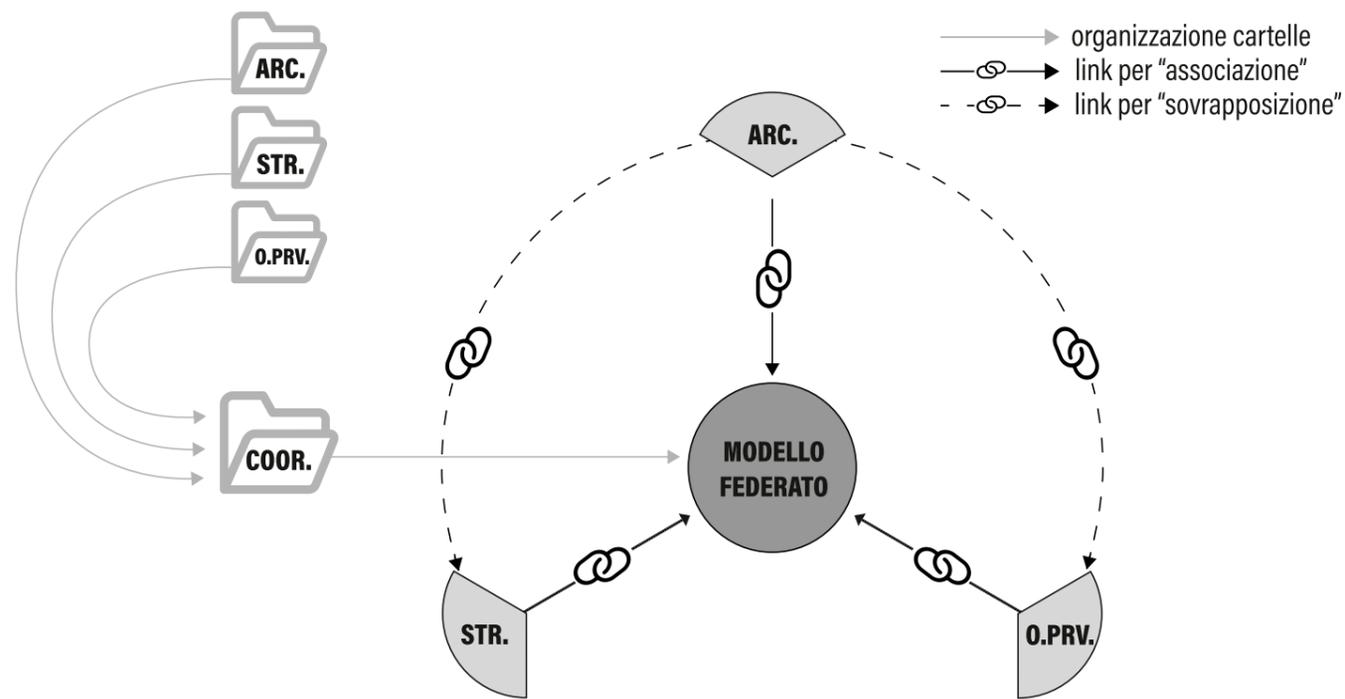


FIG. 3.3.c
Schema concettuale
del modello federato
in formato .rvt

Nello schema (FIG 3.3.c) possiamo innanzitutto notare la differenziazione dei tipi di modello: grigio chiaro, i file di progetto relativi alle tre diverse discipline; in grigio scuro, posizionato al centro, il file di coordinamento. La prima operazione è stata quella di *linkare* all'interno del file di coordinamento i tre modelli locali (freccia continua), tramite *link per "associazione"*; questo tipo di collegamento permette eventualmente di caricare e visualizzare, nel file, i modelli nidificati.

Durante la progettazione è stato indispensabile anche lo scambio di dati e informazioni tra le varie discipline non obbligatoriamente passando dal coordinamento principale. Il modello architettonico, infatti, è stato linkato per *"sovrapposizione"* sia nel modello

strutturale che nel modello delle opere provvisorie (freccia tratteggiata), in modo da avere, oltre ai riferimenti spaziali, anche una base sulla quale iniziare a modellare. Non bisogna quindi ragionare con dei collegamenti vincolati al solo modello di coordinamento, ma è utile anche l'interazione tra essi in modo indipendente. Questo tipo di collegamento per sovrapposizione, a differenza di quello per associazione, fa in modo che non vengano caricati e visualizzati i modelli nidificati all'interno del modello di coordinamento.

Si riportano le due differenti tabelle di gestione dei collegamenti, estrapolate direttamente da Revit, con i relativi dettagli di condivisione effettuata tra i modelli (FIG 3.3.d).

Gestisci collegamenti

Revit IFC Formati CAD Revisioni DWF Nuvole di punti Topografia

Nome collegamento	Stato	Tipo di riferimento	Posizioni non salvate	Percorso salvato	Tipo di percorso
Copertura Trompone_architettonico.rvt	Caricato	Associazione	<input type="checkbox"/>	Workset\Copertura Trompone_architettonico.rvt	Relativo
Copertura Trompone_opere provvisionali.rvt	Caricato	Associazione	<input type="checkbox"/>	Workset\Copertura Trompone_opere provvisionali.rvt	Relativo
Copertura Trompone_strutturale.rvt	Caricato	Associazione	<input type="checkbox"/>	Workset\Copertura Trompone_strutturale.rvt	Relativo

Salva posizioni Ricarica da... Ricarica Scarica Aggiungi... Rimuovi

Gestisci workset

Gestisci collegamenti

Revit IFC Formati CAD Revisioni DWF Nuvole di punti Topografia

Nome collegamento	Stato	Tipo di riferimento	Posizioni non salvate	Percorso salvato	Tipo di percorso
Copertura Trompone_opere provvisionali.rvt	Caricato	Sovrapposizione	<input type="checkbox"/>	Copertura Trompone_opere provvisionali.rvt	Relativo
Copertura Trompone_strutturale.rvt	Caricato	Sovrapposizione	<input type="checkbox"/>	Copertura Trompone_strutturale.rvt	Relativo

Salva posizioni Ricarica da... Ricarica Scarica Aggiungi... Rimuovi

Gestisci workset

FIG. 3.3.d
Immagine in alto. Dettaglio dell'operazione riguardante i link per associazione.
Immagine sottostante. Dettaglio dell'operazione riguardante i link per sovrapposizione

3.3.1 Suddivisione in fasi di costruzione

Il beneficio di avere, collegati tra loro, più file diversi in cui modellare ha reso efficiente il flusso di lavoro sia per quanto riguarda la collaborazione tra i sottoscritti, sia la condivisione dei dati tra questi modelli con quello di coordinamento, ma anche, indipendentemente, tra i modelli stessi. Infatti, è stato possibile relazionare i dati e le informazioni anche tra le stesse discipline (come ampiamente descritto in questo capitolo) in modo che vengano scambiate tra esse non obbligatoriamente passando dal file di coordinamento principale.

Completata l'operazione di collegamento dei vari file di modello, il seguito del processo progettuale vede in parallelo la modellazione strutturale della copertura del Santuario e delle opere provvisorie di cantiere.

Nell'ottica di una gestione **4D** e **5D** del progetto, la fasizzazione del processo di costruzione assume un significato fondamentale. Difatti, la necessità progettuale di analizzare e catalogare gli elementi modellati in base alle loro caratteristiche 4D, ha reso indispensabile una corretta definizione delle **fasi** di costruzione e demolizione all'interno del modello; operazione tuttavia possibile grazie ad una delle funzionalità più interessanti offerte da Revit focalizzata proprio sulla creazione e gestione delle fasi di lavoro.

Suddetta impostazione delle fasi di progetto è alla base della definizione dei codici, in quanto, come verrà affrontato nei capitoli "3.4.1 - Parametri di progetto e parametri condivisi" e "4.2 - Assegnazione codici tramite VLP con Dynamo", risulterà indispensabile per la loro

attribuzione, sotto forma di parametri, agli elementi del modello attraverso il *plug-in* di Dynamo.

Per la creazione di nuove fasi o la modificare di quelle già esistenti innanzitutto bisogna andare nella scheda gestisci e, all'interno della sezione delle fasi, cliccare appunto su "fasi"; il software riporta già le due fasi di progetto di default che sono: **"stato di fatto"** e **"stato di progetto"**; per cui, l'operazione ha previsto l'inserimento di ulteriori fasi che avrebbero permesso una migliore lettura del modello e facilità di gestione all'interno di Dynamo, e sono: **"montaggio cantiere"** e **"smontaggio cantiere"**. Di seguito un'immagine (*FIG 3.3.1.a*) che rappresenta le fasi create per la gestione del progetto in esame.

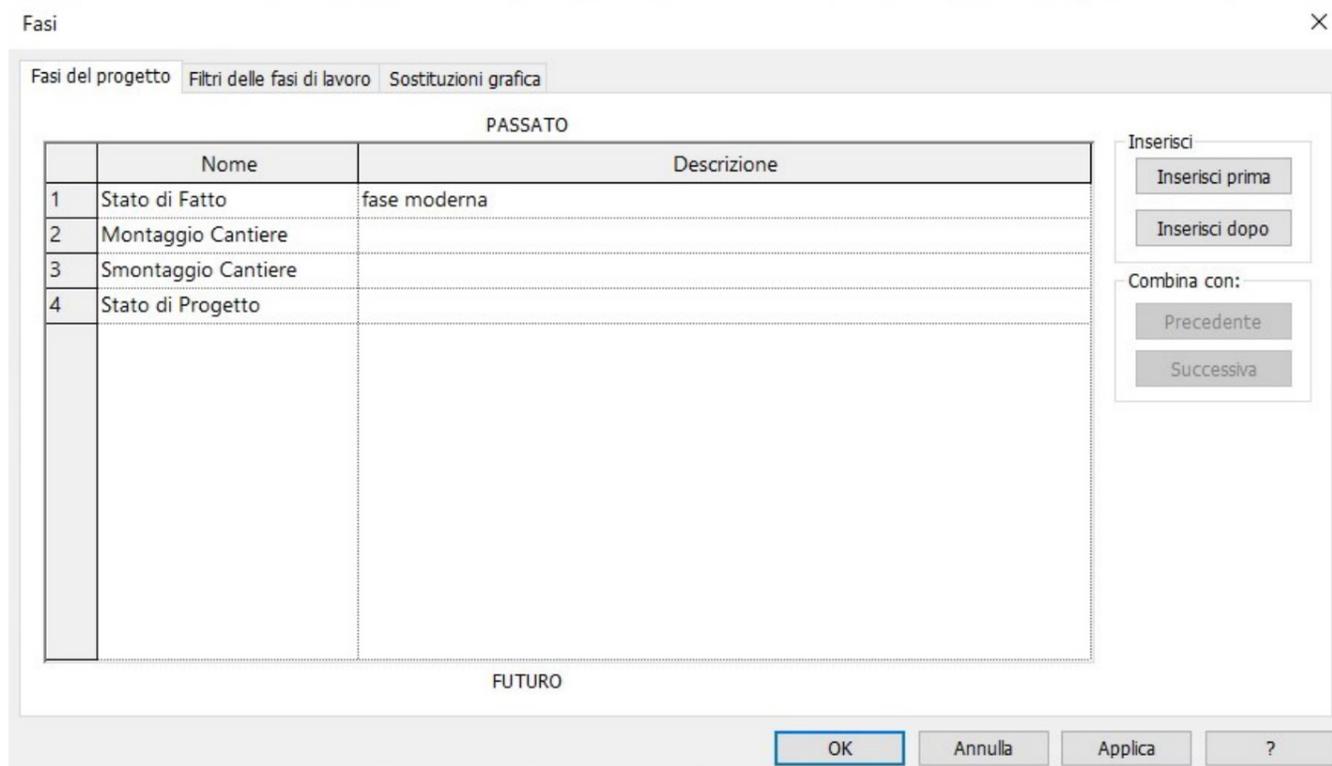


FIG. 3.3.1.a
Creazione fasi di
progetto su Revit

Dopo di che, come già anticipato, a tutti gli elementi di ogni singolo modello (architettonico, strutturale e opere provvisorie) sono stati assegnati i due parametri relativi alla **"fase di costruzione"** e alla **"fase di demolizione"** che, grazie all'ausilio dei "filtri fase" è stato possibile appunto filtrare gestendo i tipi di visualizzazione degli elementi in modo da poter creare delle viste diverse in base alle differenti fasi di cantierizzazione. Di seguito (FIG 3.3.1.b; FIG 3.3.1.c; FIG 3.3.1.d) vengono riproposte le varie viste relative alle diverse fasi, ottenute mediante la gestione del "filtro delle fasi".

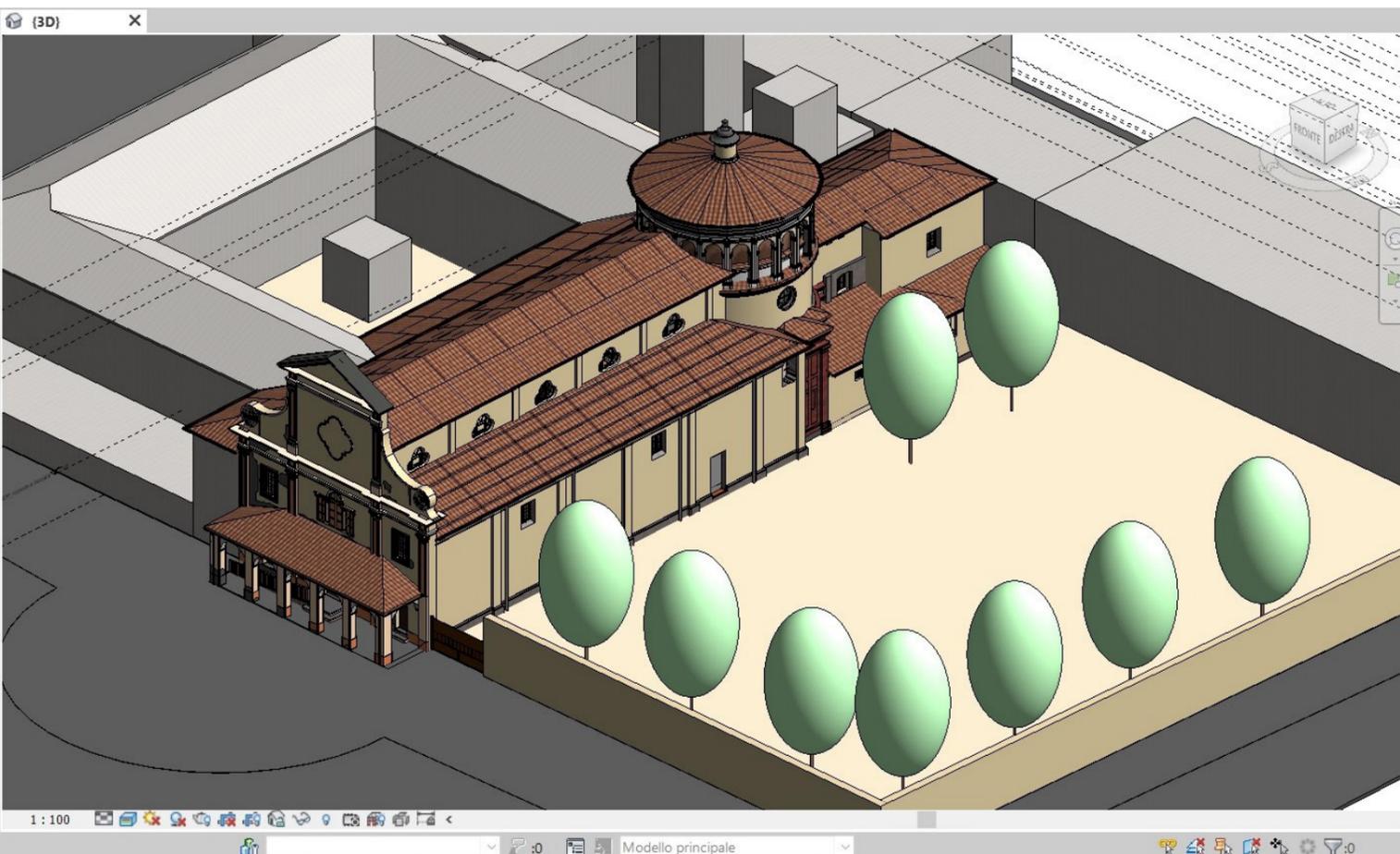


FIG. 3.31.b
Fase "Stato
di fatto" in cui
è possibile
visualizzare
l'intera struttura
preesistente

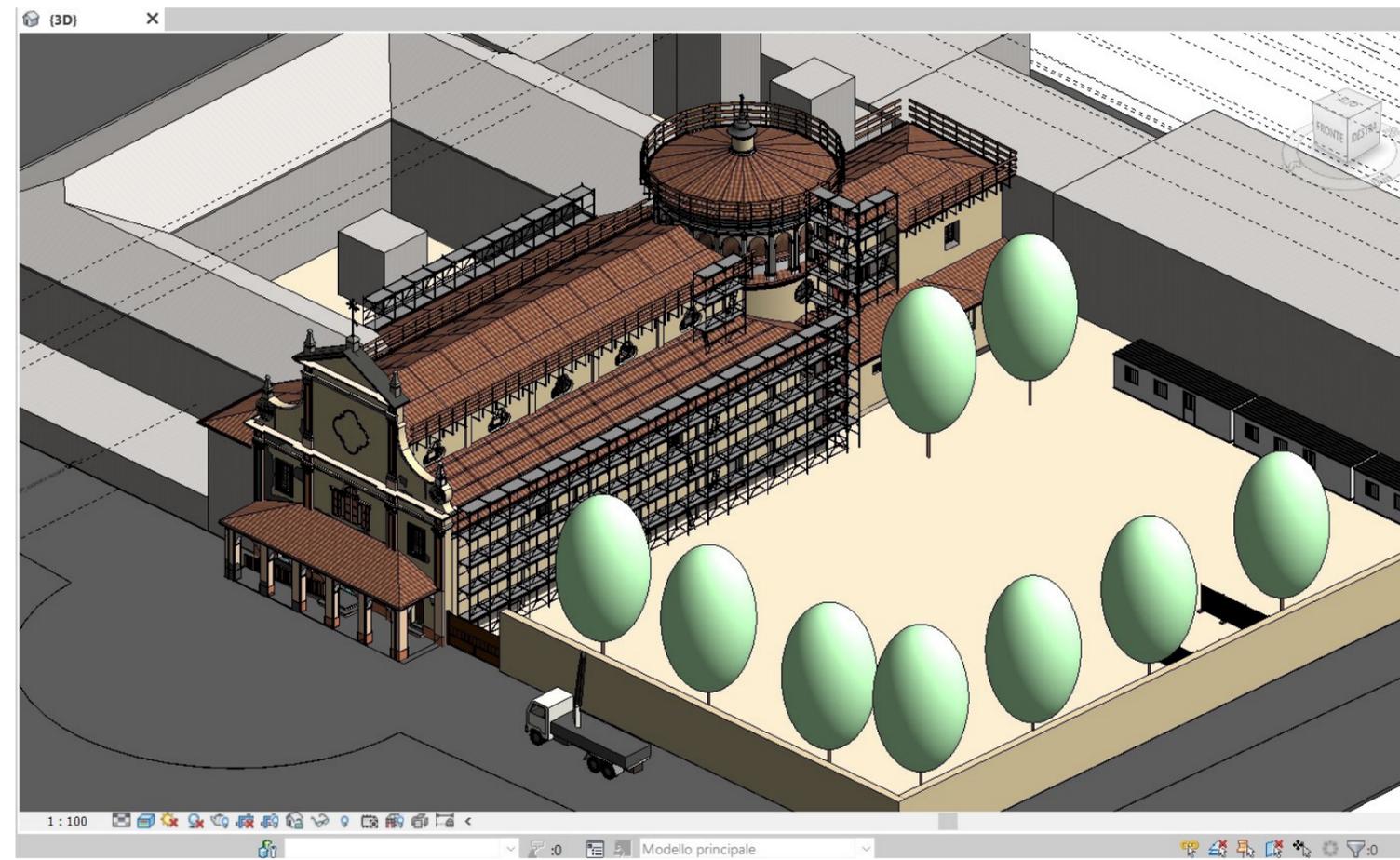


FIG. 3.31.c
Fase "Montaggio
cantiere" in cui è
possibile visualizzare
le attrezzature
provvisorie che
verranno utilizzate per
l'esecuzione dei lavori



FIG. 3.31.d
Fase
"Smontaggio
cantiere" in
cui tutte le
attrezzature
di cantiere
provvisorie sono
state rimosse

3.4

Codifica delle entità

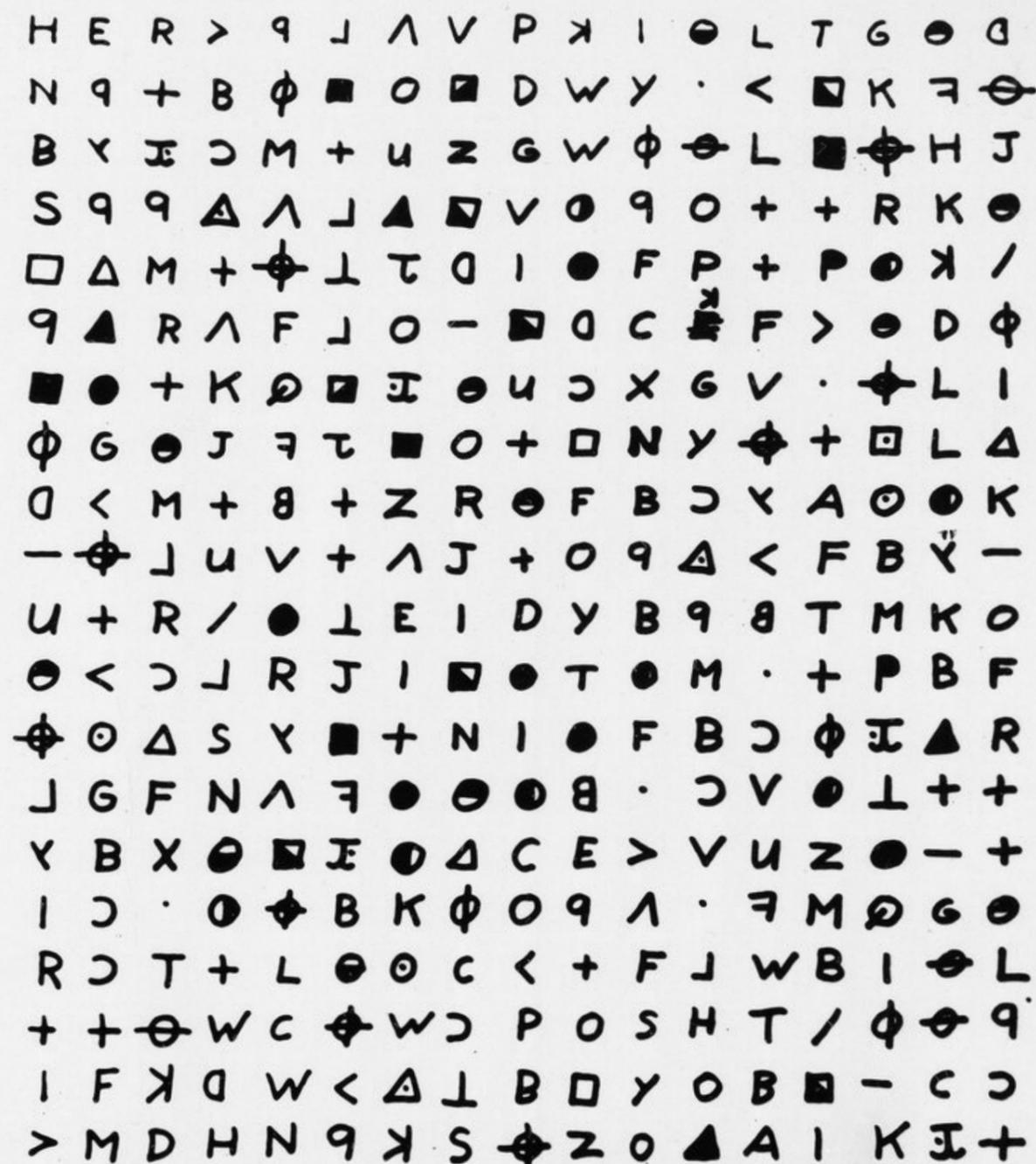


FIG. 3.4.a
Rielaborazione
digitale di un
messaggio di
Zodiac

Lavorando su un modello già sviluppato è stato necessario comprendere e valutare le scelte che hanno portato dalla sua definizione. Particolare attenzione è stata posta nei confronti della redazione dei codici associati alle entità, in quanto utili alla gestione del progetto. Il modello di partenza presentava tre codici principali composti da diversi livelli. I **codici principali** erano: WBS, Codice Attività, Codice Identificativo; di cui l'ultimo, trattandosi di una codifica volta a posizionare il restauro della copertura in un sistema più ampio di interventi, non è stato modificato nella struttura. Ognuno di questi codici era composto da livelli, ognuno rappresentato da un codice da tre cifre, separato dal seguente tramite un punto. Per praticità e coerenza è stata mantenuta questa forma, sia dei livelli che della composizione.

Il **codice WBS** si presentava con una struttura *top-down* a cinque livelli, comprendente informazioni relative al nome del progetto, alle fasi dell'intervento, alla classificazione degli elementi (tramite UniFormat II), alla loro posizione e le istanze di riferimento. Intendendo la *Work Breakdown Structure* come una scomposizione degli elementi dell'edificio utile alle operazioni di *Quantity Takeoff*, sia la posizione che l'istanza specifica risultavano informazioni superflue per cui si è deciso di eliminarle. È stato inserito un **ulteriore livello** alla classificazione degli elementi in modo che risultasse sufficientemente descrittiva per identificare i diversi tipi all'interno delle classi. Nella pratica, come descritto nel capitolo "4.2 -Assegnazione codici tramite VPL - Codice Tipologie", è stato mantenuto il nome del livello che faceva riferimento all'istanza,

ovvero “Codice Tipologie”, in quanto coerente con l’intento, ma è stato modificato il contenuto in modo che servisse da livello più specifico del codice rappresentante la classificazione UniFormat II.

Composizione Codice WBS:

Nome progetto.Fase.Elementi Individuali

Esempio: COP.LAV.B1020

Il “**Codice Attività**”, inteso come codifica a supporto della programmazione delle attività per la stesura del Gantt di progetto, è stato configurato come un sistema gerarchico *top-down* a cinque livelli, i primi quattro sono i medesimi della *Work Breakdown Structure* e l’ultimo riferisce a quale tassello contiene l’elemento, la posizione. La composizione del quinto livello del “Codice Attività”, riferito alla

posizione, chiamato “**Codice Posizione**”, è volta ad identificare quale tassello nello specifico contiene l’elemento. Il livello composto da tre cifre, in cui la prima, tramite una lettera, indica in quale porzione continua di copertura si trova il tassello, e le seconde due fungono da sistema ad ascisse e ordinate, in cui le ascisse presentano valori numerici e le ordinate lettere dell’alfabeto.

Composizione Codice Attività:

Nome progetto.Fase.Elementi Individuali. Posizione

Esempio: COP.LAV.B1020.CA1

Per quanto riguarda la **fase di intervento**, ovvero il secondo livello della WBS, il codice è stato pensato come una identificazione della permanenza in opera dell’elemento. Per

Come per il Codice Identificativo, i suoi primi livelli: “Sito”, “Intervento”, “Disciplina” e “Codice Categoria”; non hanno subito modifiche. Il primo livello fa riferimento al sito in cui si svolge l’intervento, il secondo alla tipologia di intervento, segue la disciplina di riferimento e di quale categoria l’elemento fa parte. A questi livelli, senza modificare la modalità di composizione del Codice Identificativo, seguono i nuovi “Tipologie” e “Codice Posizione”.

Composizione Codice Identificativo:

Sito.Intervento.Disciplina.Codice Categoria.

Tipologie.Codice Posizione

Esempio: SOC.RES.ARC.TET.001.CA1

In aggiunta è stato ripreso il codice “Classi di Elementi Tecnici”, utile a tradurre dal formato UniFormat II alla norma UNI 8290. Questo risulta molto utile in caso ci si debba interfacciare con un’impresa che non sia solita utilizzare lo standard americano. Poiché sia l’UniFormat II che la UNI 8290 sono definiti da tre livelli ampliabili si rimarca l’importanza di avere separato il **quarto livello, “Codice Tipologie”**, in modo che questo possa essere valido in entrambi i casi.

Di seguito una tabella (*FIG 3.4.b*) riportante i possibili valori dei codici non composti.

CODICE	VALORI	DESCRIZIONE
NOME PROGETTO	COP	Copertura
INTERVENTO	RES	Restauro
SITO	SOC	Silenziosi Operai della Croce
FASE	PRV	Opere provvisoriale
	LAV	Elementi che subiscono lavorazioni
ELEMENTI INDIVIDUALI	G9090	Attrezzature speciali
	B3030	Tetti
	D2040	Lattoneria
	B1010	Controsoffitti
	B1020	Telaio strutturale
	P0000	Operai
TIPOLOGIE	001	Tipologia 1
	002	Tipologia 2
	003	Tipologia 3
	...	
POSIZIONE	CA1	Tassello A1 nella navata central
	SA1	Tassello A1 nella navata sinistra
	DA1	Tassello A1 nella navata destra
	RA1	Tassello A1 nella rotonda
	AA1	Tassello A1 nell'abside
	CA2	Tassello A2 nella navata centra
	...	
CLASSI DI ELEMENTI TECNICI	X	Non definito/Opere provvisorie
	2.4.1	Tetti
	5.3.3	Lattoneria
	3.2.1	Controsoffitti
	1.2.2	Telaio strutturale
CATEGORIA	ATS	Attrezzature speciali
	TET	Tetti
	GRO	Lattoneria
	PAV	Controsoffitti
	TES	Telaio strutturale
	OPE	Operai
	DISCIPLINA	ARC
	STR	Strutturale
	CNT	Cantiere

3.4.1 Parametri di progetto e parametri condivisi

FIG. 3.4.b
Schematizzazione dei valori possibili per i diversi codici adottati

Lo sviluppo del progetto BIM è arricchito da **parametri** (proprietà) che descrivono le caratteristiche, sia geometriche che informative, di ogni elemento modellato e ne determinano anche possibili relazioni.

In Autodesk Revit, ad esempio, uno o più parametri sono associati ad una **famiglia**, cioè una classe di elementi in una specifica **categoria**. I parametri, a loro volta, possono appartenere a due categorie diverse: quelli di **"tipo"**, relativi alla produzione e di **"istanza"**, relativi alla posa in opera.

Un parametro di tipo può dare informazioni riguardo lo stile di una famiglia, le caratteristiche, i materiali, la dimensione specifica; più parametri di tipo, combinati tra loro, creano quindi un tipo di famiglia all'interno

di una categoria e sono uguali per tutte le famiglie create: infatti, qualora si decidesse di apportare delle modifiche, l'aggiornamento verrà automaticamente riportato in tutte le famiglie aventi lo stesso nome. Un parametro di istanza invece riguarda i singoli elementi appartenenti ad una medesima famiglia; questo permette quindi di associare gli attributi singolarmente e non a tutti i tipi, come ad esempio la posizione di un determinato elemento, il nome, il numero o il colore.

Esistono anche due tipi di parametri personalizzati, ovvero parametri aggiuntivi che non sono presenti nella configurazione standard e che permettono di implementare le proprietà e i dati identità degli oggetti all'interno del progetto: i **"parametri di progetto"** e i **"parametri condivisi"**.

3.4.2 Creazione dei parametri condivisi

famiglia sia all'interno di un progetto. L'utilizzo del file di testo, inoltre, permette di trasferire tutte le definizioni dei parametri presenti al suo interno direttamente ad altre persone, agevolando così la loro lettura anche su altri dispositivi.

I parametri di progetto sono contenitori di informazioni che vanno aggiunti a più categorie di elementi in un progetto e sono specifici del progetto stesso: vale a dire che, una volta creato questo tipo di parametro, la sua vita sarebbe solo ed esclusivamente all'interno di uno specifico progetto, per cui, non possono essere condivisi con altri progetti. È possibile utilizzare ed esportare i parametri di tipo all'interno degli abachi.

I parametri condivisi, anch'essi contenitori di informazioni, possono essere invece aggiunti a famiglie e progetti diversi: le definizioni dei parametri condivisi vengono infatti memorizzate in un file di testo (.txt) indipendente all'interno del computer, il quale permette di accedere ai relativi parametri e proprietà sia se ci troviamo all'interno di una

La differenza tra i due tipi di parametro è che la proprietà del parametro di progetto uscirà su qualsiasi famiglia di un'intera categoria: è quindi un'attribuzione in massa, non è possibile cioè vincolarla ad un solo tipo di famiglia; indipendentemente dalle caratteristiche, dunque, la proprietà creata sarà sempre presente, perché viene attribuita all'intera categoria. L'altra differenza sostanziale è che, in aggiunta rispetto ai parametri di progetto, quelli condivisi possono essere inseriti e utilizzati anche nelle etichette. Infatti, qualora si volesse mettere un'etichetta che vada a leggere un determinato parametro di progetto precedentemente creato, non sarà possibile farlo perché l'etichetta è una famiglia esterna, sprovvista dunque di quel determinato parametro, dato che appunto è "di progetto", cioè creato all'interno di esso.

Il bisogno di implementare quelle che potevano essere le informazioni legate al progetto stesso ha portato, durante la fase di modellazione BIM del presente caso studio, alla creazione di specifici parametri che includessero i codici rappresentativi descritti nel capitolo "3.4 - Codifica delle entità", i quali identificano i singoli elementi presenti nel modello.

I parametri utilizzati ricadono sotto la categoria dei parametri condivisi poiché, sulla base di quanto descritto nel precedente capitolo, sono appunto quelli più versatili e più gestibili, con la possibilità di essere visualizzati anche nelle etichette, negli abachi e possono essere facilmente esportati.

Per creare un nuovo parametro di progetto innanzitutto bisogna andare nella scheda gestisci e, all'interno della sezione delle impostazioni, cliccare su "parametri condivisi" (FIG 3.4.2.a).

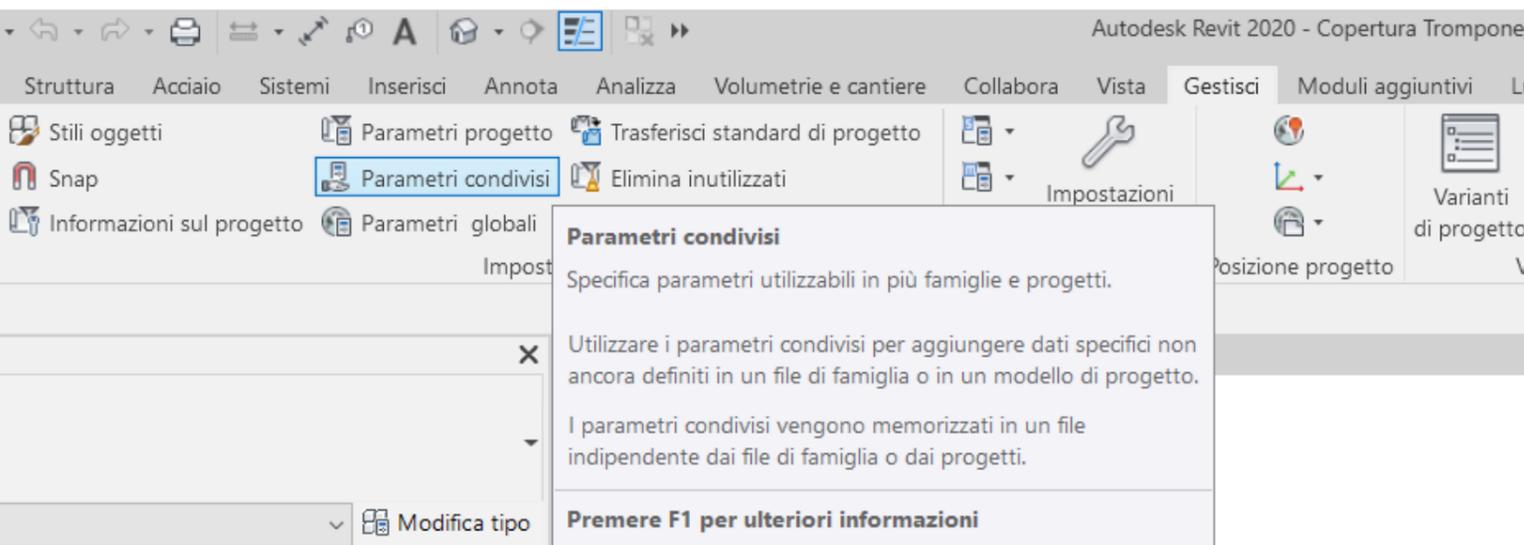


FIG. 3.4.2.a
Procedura
utilizzata per
la creazione
dei parametri
condivisi

A questo punto, qualora non fosse ancora esistente nel computer il file di testo dei parametri condivisi, Revit permette di crearlo e salvarlo. Fatto ciò, dato che il file di testo ha bisogno di essere strutturato in un determinato modo, la prima operazione è stata quella di creare un gruppo di parametri condivisi, chiamato **"Codici"**.

Una volta creato il gruppo, cliccando su "nuovo" è stato possibile creare e settare i parametri condivisi: si è dovuto dare un nome al parametro, scegliere la disciplina, il tipo. Di seguito (FIG 3.4.2.b) la lista dei parametri condivisi creati nel presente caso studio.

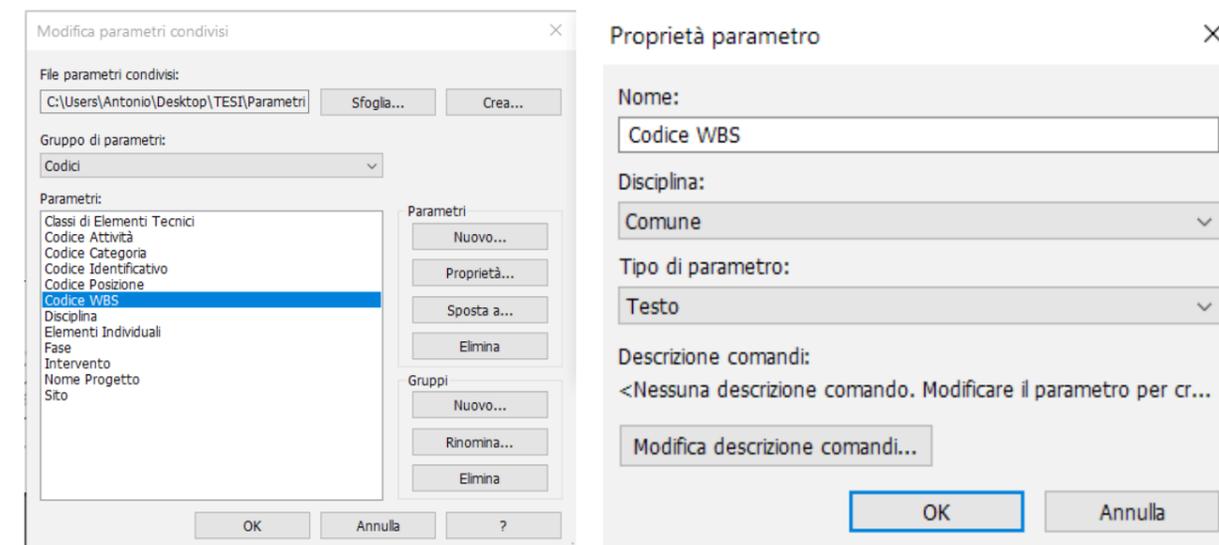


FIG. 3.4.2.b
Parametri
condivisi creati
all'interno del
progetto

In questo momento, i parametri condivisi sono stati creati ma non utilizzati perché non sono stati ancora associati alle categorie interessate. Per cui, andando sempre nella scheda gestisci, all'interno della sezione delle impostazioni, questa volta si è cliccato su "parametri di progetto". Si entra così nelle proprietà dove la prima operazione è stata quella di cliccare su "parametro condiviso"; dopo di che, la procedura ha richiesto la selezione, uno per volta, dei parametri precedentemente creati all'interno del file di testo (.txt) salvato nel computer. Una volta dato l'ok, i parametri sono stati aggiunti, aventi già tutte le caratteristiche impostate perché sono state determinate in precedenza e quindi già scritte nel file .txt.

Successivamente, è stato scelto il gruppo di proprietà all'interno del quale visualizzare ogni parametro (nel nostro caso "dati identità"). Per poter ultimare la procedura sono state fatte due tipi di scelte: la prima, se i parametri dovevano essere di tipo o istanza; la seconda, quale la categoria associare.

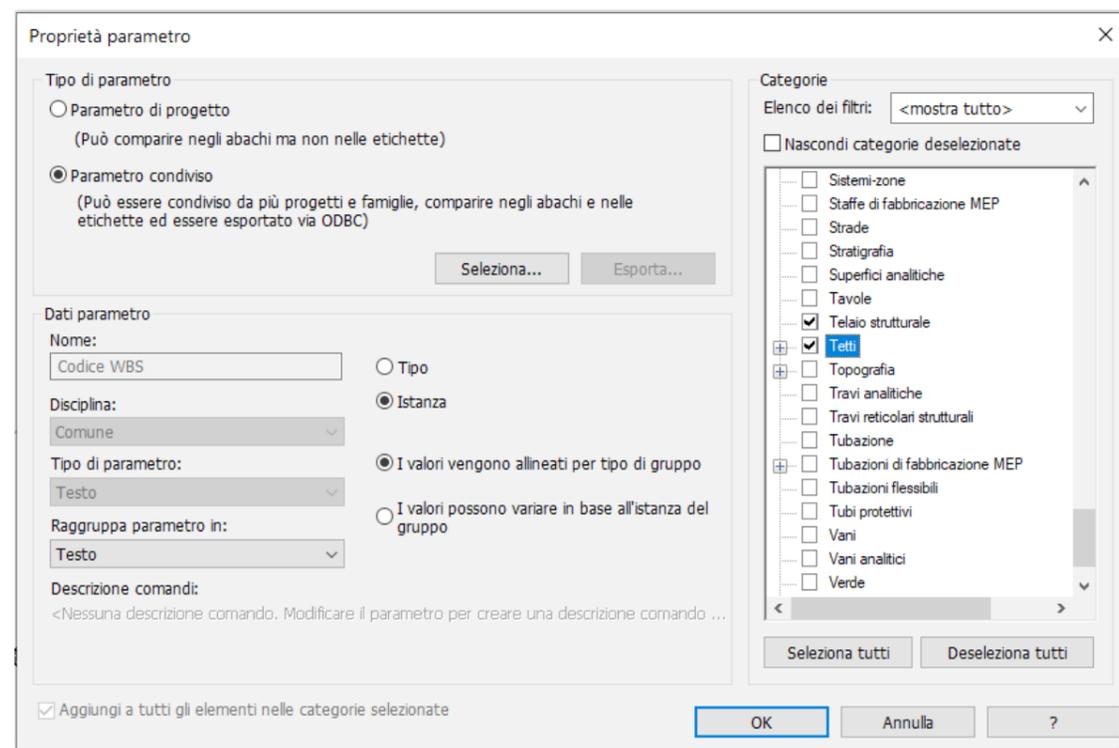


FIG. 3.4.2.c
Procedura
utilizzata per
la creazione
dei parametri
condivisi

Una volta dato l'ok, selezionando l'oggetto è stato possibile visualizzare nei dati identità il parametro condiviso appena creato. Questo ha permesso, dopo aver concluso la procedura di inserimento del parametro come testo anche all'interno della famiglia "etichetta", di etichettare e visualizzare le proprietà del parametro stesso. Ciò è possibile perché la famiglia etichetta si collega con il file di progetto attraverso il file di testo (.txt) dei parametri condivisi: è dunque una specie di "file raccordo" che funziona proprio come

collegamento tra file di progetto o tra famiglie e file di progetto.

Una considerazione che potremmo fare è che un parametro condiviso non è altro che, a sua volta, un parametro di progetto; "condiviso" perché viene appunto condiviso per più file, grazie al fatto che le caratteristiche di quel parametro sono scritte su un file esterno, ma in realtà è comunque un parametro di progetto.



3.5

FIG. 3.5.a
Immagine
evocativa
ragionamento
avanzato

Definizione del modello (tassellazione)

Il modello di gestione del cantiere **deriva dal caso reale** sia per quanto riguarda l'oggetto dell'intervento che per le strategie impiegate dai progettisti. Per la sua realizzazione sono state riprese le lavorazioni necessarie al restauro conservativo della copertura del Santuario. Le risorse umane sono state suddivise in due imprese: una per i ponteggi e una per le opere in copertura, la prima composta da una squadra di 5 operai e la seconda da due squadre da 3 operai ciascuna. L'organizzazione delle attività ha come regola quella di far iniziare e terminare la giornata lavorativa senza che vi siano porzioni di copertura aperte. Per quest'ultimo motivo l'area d'intervento è stata suddivisa in porzioni (in seguito chiamate anche **"tasselli"**) in modo che ognuna delle quali rappresentasse la zona interessata dai lavori in un determinato giorno.

Grazie alla presenza di un modello BIM e alla documentazione relativa al caso studio, le informazioni riguardanti le tipologie di lavorazioni necessarie e le quantità di materiale interessate da tali lavorazioni sono state impiegate per la determinazione delle dimensioni dei tasselli. In primo luogo, è stato stilato l'elenco delle opere in copertura, di seguito sono state identificate le voci relative all'interno del Prezzario della Regione Piemonte 2020. Grazie alla suddivisione dei costi interna al prezzario sono state identificate le componenti di costo relative alla manodopera esprimibili in [€/unità di misura]. Rapportando i costi della manodopera delle varie lavorazioni ai compensi medi orari per la provincia di competenza sono stati ottenuti valori di [ore di lavoro/unità di misura].

La differenza di unità di misura delle varie lavorazioni è stata colmata rapportando le quantità relative ad ogni lavorazione a quella della superficie di pavimento, in questo modo sono stati ottenuti i valori di incidenza su superficie di pavimento di ogni attività. Moltiplicando i valori di ore di lavoro all'unità di misura per l'incidenza su superficie di pavimento è stato possibile ottenere l'effort al metro quadro di pavimento per attività, dato fondamentale per comprendere quanto tempo impiega un operaio a svolgere tutte le lavorazioni su un mq.

Dunque, con la formula:

$$A_o = \frac{\text{Ore di lavoro al giorno}}{\text{Ore in un giorno} \times \sum_{i=1}^n \text{effort attività}_i}$$

è stata ottenuta l'area, in superficie di pavimento, di porzione di tetto completabile da un operaio in una giornata di lavoro.

Prendendo come esempio 8 ore di lavoro e 5 attività con effort pari a 0,1; 0,1; 0,2; 0,1; moltiplicando le ore in un giorno (24) per l'effort attività (0,5), otteniamo 12; dunque il risultato è dato dalla frazione $8/12=2/3$ [mq].

Seguendo l'impostazione del cantiere reale, che vede un'impresa per le lavorazioni in copertura, composta da due squadre di tre operai ciascuna, è stata calcolata l'area dei tasselli moltiplicando i metri quadri ottenuti con la formula precedente per il numero di operai per squadra, ovvero tre.

Questo metodo ha permesso di avere una **prima stima** per quanto riguarda le tempistiche, infatti, essendo ogni tassello la misura di quanto viene realizzato in un giorno da una squadra, è bastato dividere il numero dei tasselli per il numero di squadre per ottenere la durata dei lavori in copertura.

Da notare come questo metodo di suddivisione del modello, tenendo conto delle superfici di incidenza dei lavoratori, permette di verificare in prima battuta la possibilità di mantenimento della distanza interpersonale. Nella determinazione delle aree dei tasselli è stato possibile valutare se la superficie di incidenza di un singolo operaio fosse adeguata per il rispetto delle misure di distanziamento sociale previste nel Protocollo per i cantieri del 24 aprile 2020.

La verifica è stata svolta confrontandola con la superficie di un cerchio di diametro 1.60 m in modo da considerare 60 cm di ingombro della persona e un metro come **distanza di sicurezza**.

Data la dipendenza delle aree dei tasselli dal numero di persone, e dunque la loro crescita proporzionale, risulta evidente come l'ingombro delle lavorazioni di un unico operaio sia **l'indicatore** primo nella ricerca in relazione al **COVID-19** e che i tempi siano correlati dalla quantità di forza lavoro. In merito al metodo proposto, dunque, si può affermare che:

$$I - \sum_{i=1}^n \text{effort attività}_i \times \frac{24}{\text{Ore di lavoro al giorno}} \times \pi \left(\frac{60 \text{ cm} + \text{distanziamento}}{2} \right)^2 = I$$

dove con valori positivi dell'indice I si vede la possibilità di applicarlo, con valori negativi si identificano i casi in cui si devono organizzare le attività in modo da garantire il rispetto delle norme di distanziamento. Questo indicatore permette di identificare casi in cui non sia necessario prevedere una maggiorazione delle tempistiche come quella suggerita dalla regione Piemonte con la DGR dell'8 maggio 2020, n.11-1330 e recepita nel Prezzario 2020 della Regione Piemonte, espressa, nel secondo documento, nella misura del 5% per le voci che vedono un'incidenza della manodopera maggiore del 50%.

La formula applicata ai dati dell'esempio precedente (ore di lavoro 8, sommatoria dell'effort delle attività 0,5), considerando un distanziamento di 1 metro fornisce il risultato di -2,02; dunque risulta impossibile applicare il metodo.



3.6

Interoperabilità tra software

Per lo sviluppo del progetto, come anticipato al capitolo "*Workflow operativo*", è stato necessario l'impiego di differenti applicativi, per ciò la comunicazione tra i differenti software risulta cruciale. In questo capitolo verranno puntualmente analizzate le operazioni e le modalità di **scambio dati** tra le diverse piattaforme. L'ordine di presentazione delle interazioni tra i programmi seguirà l'ordine cronologico del flusso di lavoro utilizzato in questo progetto di tesi.

FIG. 3.6.a
Immagine
evocativa
circuiti e dati

3.6.1 Revit - Dynamo

In Revit al gruppo di pulsanti "Gestisci", alla voce "Programmazione visiva" appare l'icona di Dynamo (FIG 3.6.1.a). Da una parte abbiamo un software BIM e dall'altra una piattaforma di programmazione visiva dunque non ci chiediamo tanto quanto il primo possa dare alla seconda ma viceversa.

Dynamo permette di creare script per snellire il *workflow* ed esplorare problemi di progettazione complessi senza la necessità di conoscere linguaggi di programmazione. Le stringhe di codici sono sostituite da un'interfaccia grafica ad oggetti e da nodi che si collegano tra loro. Può ricevere *input* da Revit o altri software/file ed emettere output in Revit o altri software/file. Dunque si può affermare che l'ineroperabilità tra i due programmi sia a doppio senso.

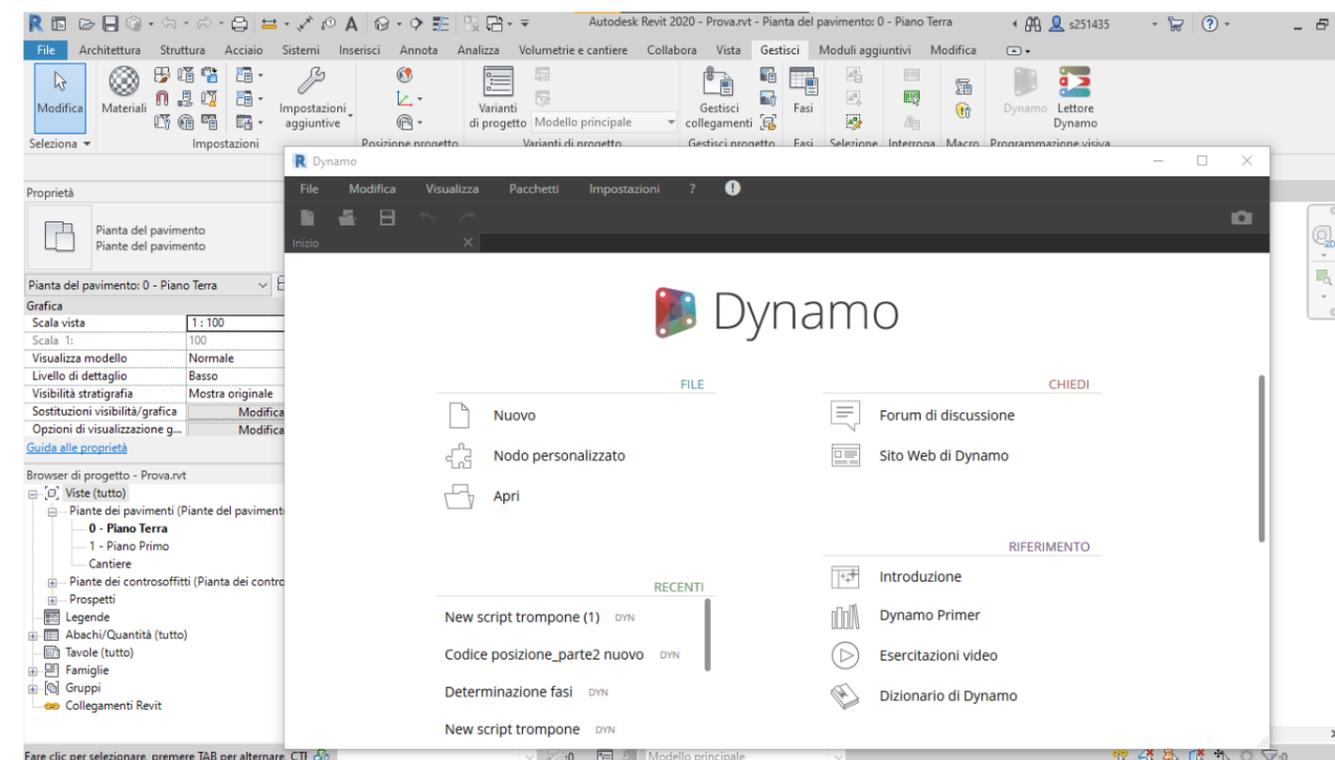


FIG. 3.6.1.a
Comando di
richiamo della
piattaforma
Dynamo in Revit

3.6.2 MS Excel - MS Project

Sia Excel che Project sono programmi Microsoft. Come molti software della stessa casa madre hanno una buona comunicazione tra loro. I fogli di calcolo per la loro natura offrono un vasto ventaglio di impieghi, attraverso la manipolazione di dati e la loro organizzazione si può ottenere una struttura tabulare. Queste caratteristiche nel loro impiego congiunto a quello di una struttura atta pianificazione suggeriscono la loro funzione di origine di informazioni. Infatti MS Project può collegare alcune sue celle a quelle di un file Excel in modo che ogni modifica sul file di origine dei dati si riflettano nel file .mmp. Questo risultato si ottiene attraverso la funzione "Incolla speciale" la quale permette di selezionare quale tipologia di informazioni si vogliono collegare e quale sia la fonte (FIG 3.6.2.a).

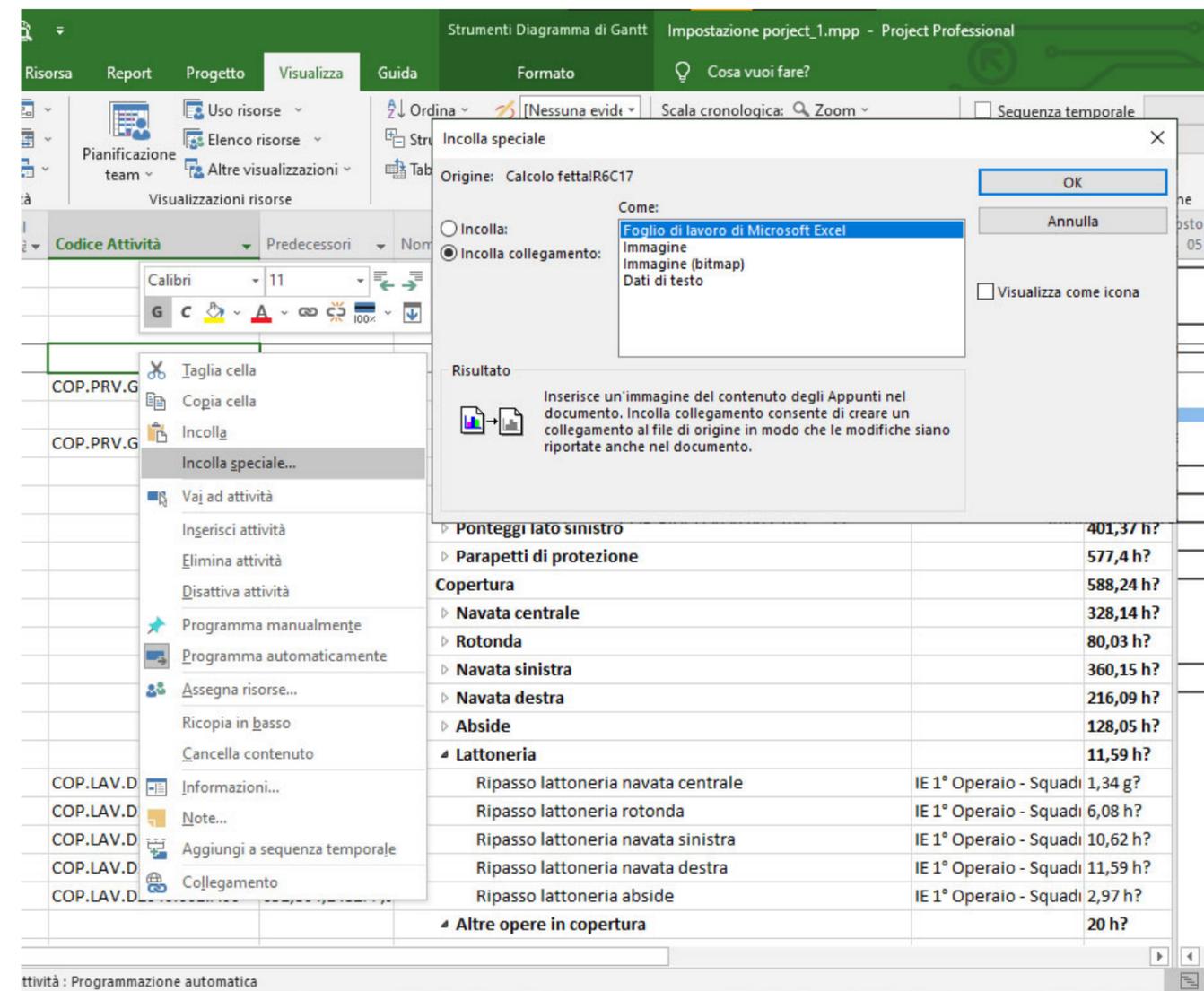


FIG. 3.6.2.a
Metodo di
collegamento
dati in MS
Project

3.6.3 Synchro - MS Project

Per quanto riguarda l'inserimento del cronoprogramma nel software Synchro, tramite il comando "Import" è stato possibile aggiungere il file realizzato con Microsoft Project, in formato .xml, questo per garantire alcuna perdita di dati, comprendente l'elenco delle attività che delineano il Gantt e la lista dei "codici WBS" e i "codici attività" relativi ad ognuna di esse (FIG 3.6.3.a).

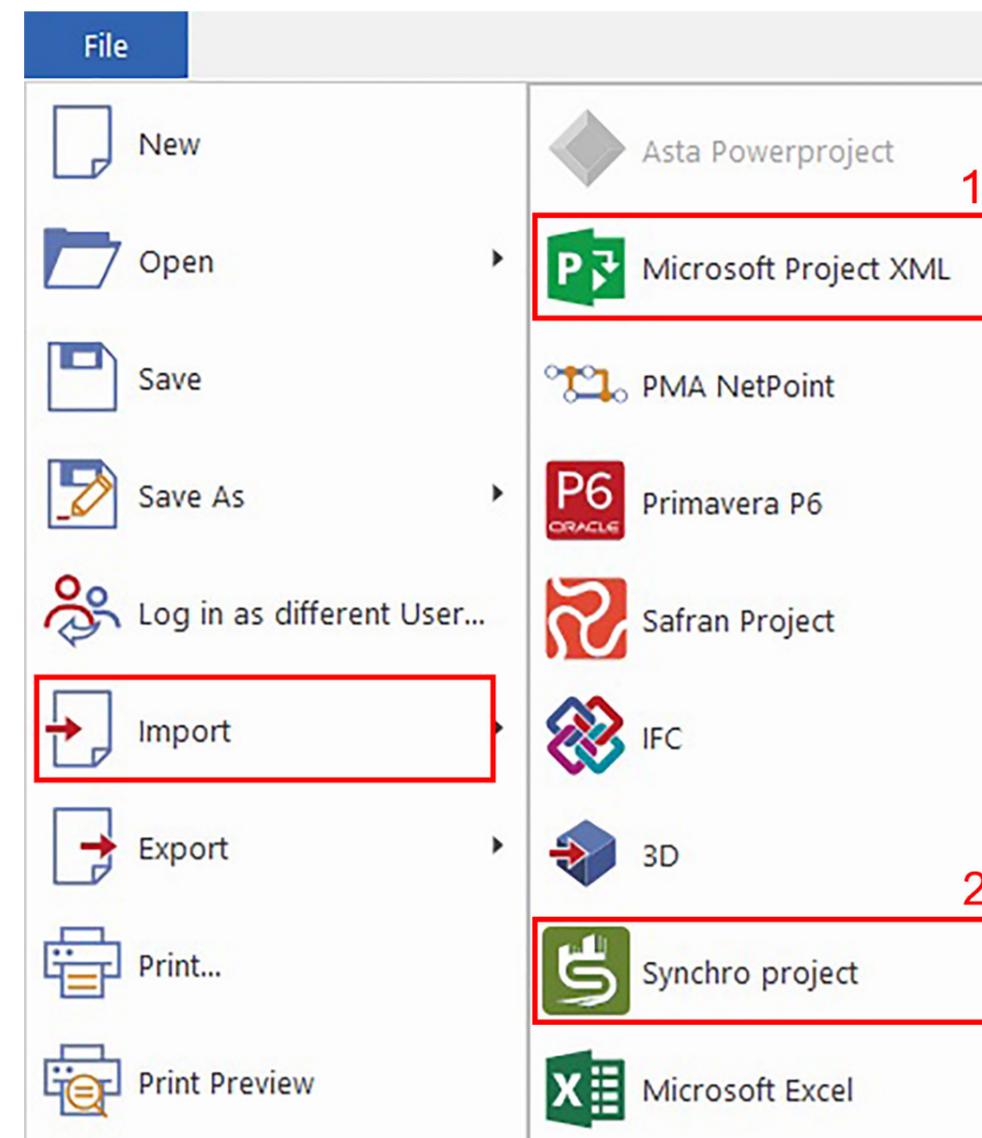


FIG. 3.6.3.a
inserimento del file
.mpp nel software
Synchro

3.6.4 Synchro - Revit

Allo stesso modo, all'utilizzo del comando "Import" segue anche l'importazione in Synchro del modello tridimensionale realizzato in Revit. Questo passaggio però non è diretto in quanto, data l'impossibilità del software di importare file .rvt nativi, si è dovuto prima esportare il modello di coordinamento tramite un plug-in di Synchro per la piattaforma Revit; in questo modo, si è ottenuto il file come "Synchro project" (in formato .spx), grazie all'apposito comando presente nel menu principale di Autodesk Revit, sotto la voce "esporta" (FIG 3.6.4.a). A operazione completata il file è stato poi caricato direttamente nel programma.

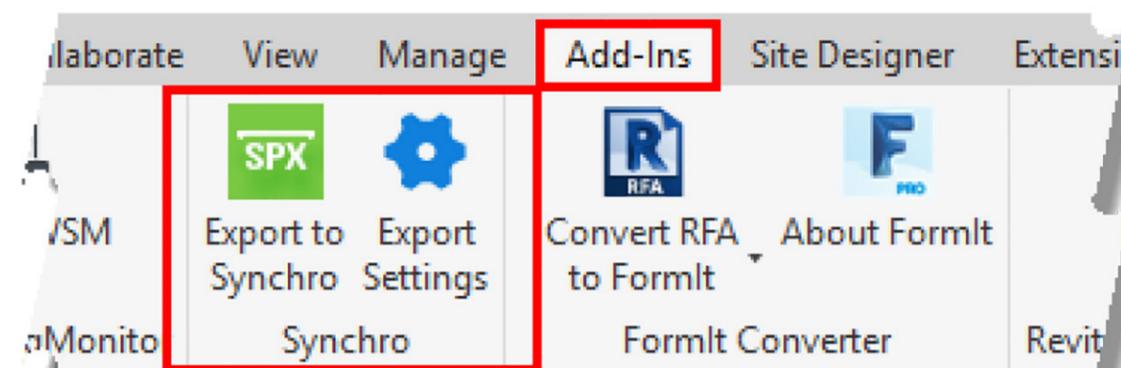


FIG. 3.6.4.a
Esportazione del
modello tramite
plug-in

3.6.5 PriMus IFC - Revit

Per utilizzare un progetto sviluppato o modificato con Revit in PriMus IFC è necessario utilizzare il formato dati aperto del BIM, l'IFC. Grazie al quale PriMus IFC riesce a leggere le geometrie e le informazioni relative agli elementi in modo poter da effettuare stime economiche. Il software di casa Acca permette l'importazione di diversi modelli e, grazie ai dati relativi alle coordinate del progetto, posiziona con precisione gli uni rispetto agli altri. Revit permette l'esportazione di modelli in formato .ifc direttamente dal menù a tendina "File" alla voce "Esporta". Prima di generare un nuovo file è possibile **configurare quali dati e come verranno trasmessi**. Grazie alle impostazioni di esportazione, dunque, si può scegliere di esportare una porzione di modello, alleggerendo il nuovo documento e riducendo la quantità di informazioni superflue.

La prima prova di esportazione dal modello realizzato in Revit per questo lavoro di tesi è stata effettuata generando un IFC che contenesse tutti gli elementi del modello appartenenti alla fase "Stato di Progetto" e uno che contenesse tutti gli elementi che si riferivano alle opere provvisorie. I gruppi di proprietà IFC comuni, quelli di Revit e gli abachi come gruppi di proprietà erano le informazioni relative agli elementi. La generazione di due file differenti è stata possibile modificando la fase da esportare e nel caso degli elementi di cantiere impostando l'esportazione valida solo per gli elementi visibili nella vista.

Ma, forse a causa dell'impiego di una versione *Educational*, il software di casa Acca non sopportava il peso di entrambi gli IFC. Di seguito si è proceduto per ridurre le

dimensioni dei file. Si è deciso di esportare solo un modello che facesse riferimento alla fase di "Montaggio cantiere" in modo che tutti gli elementi da quantificare fossero visibili. Filtrando le categorie è stato possibile non incorporare elementi superflui come muri, arredi e pavimenti (il solaio sottotetto è stato modellato come controsoffitto vedasi capitolo "2.2 - Il modello BIM del Trompone"), inoltre in Revit sono state eliminate tutte le viste non necessarie lasciando esclusivamente una vista tridimensionale e l'abaco dei tetti. La scelta di impiegare un abaco dei tetti è stata presa poiché gli elementi tetto nel formato **IFC2x3 GSA Concept Design BIM 2010** (identificato come formato leggero) risultavano sia come "Roof" che come "Slabs", in modo da trasferire alle "Slabs" le proprietà dei tetti legate al codice WBS e al Codice Attività tramite l'esportazione di abachi come gruppi di proprietà. Inoltre per ridurre maggiormente la dimensione del file è stato utilizzato il software Solibri IFC Optimizer, programma che ha come scopo l'alleggerimento di IFC e che ha portato il peso da 106 Mb a 62 Mb. Nella figura (FIG 3.6.5.a) di seguito sono riportate le impostazioni di esportazione delle proprietà degli elementi.

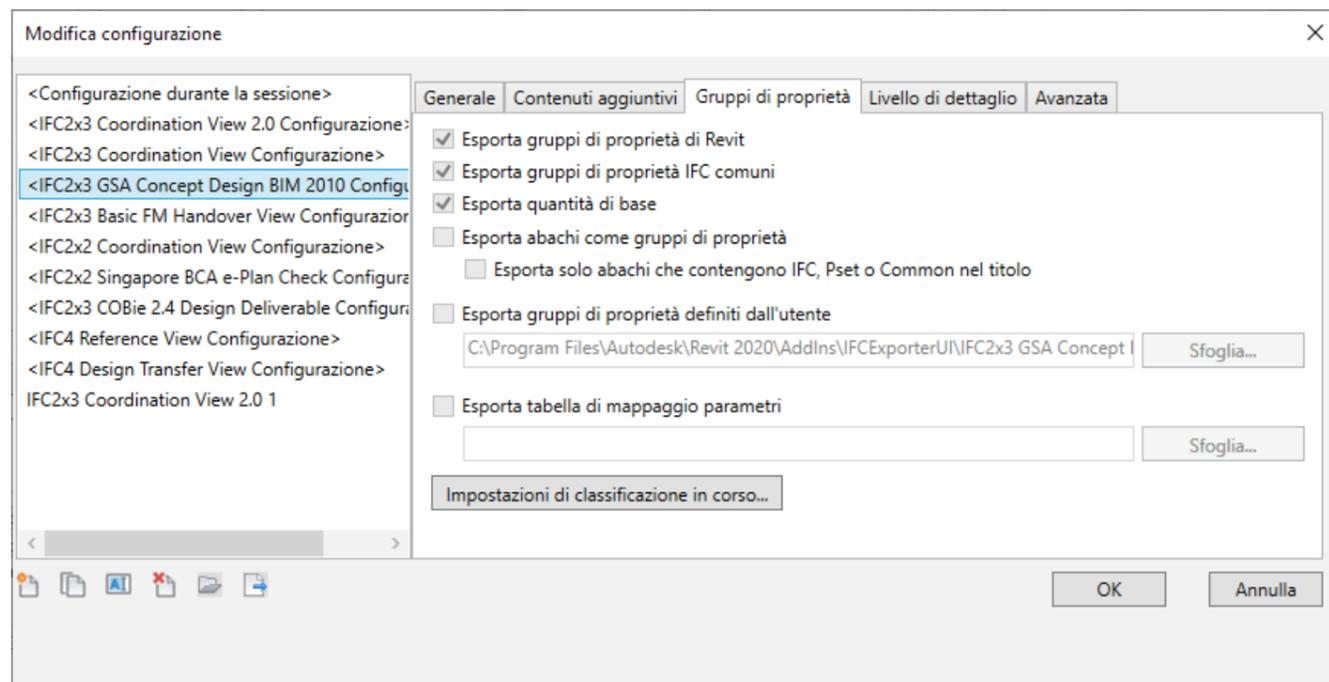
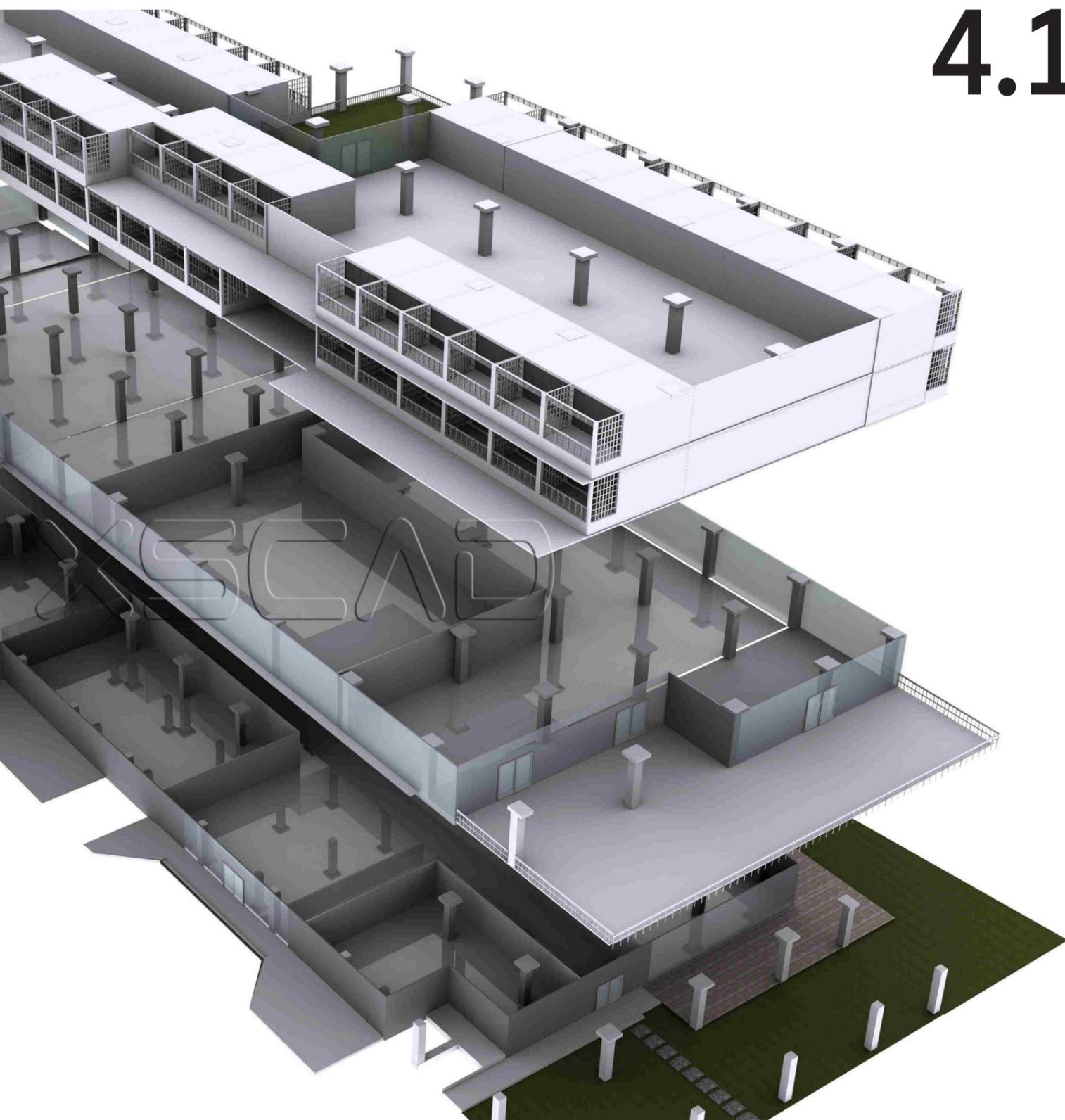


FIG. 3.6.5.a
Impostazione di
esportazione IFC
da Revit

4 R
i s
u l t a
t i



4.1

Modellazione 3D con Revit

Come già affermato in precedenza, il presente elaborato di tesi è stato sviluppato a partire da un modello unico precedentemente realizzato nello sviluppo di un'altra tesi. Tale modello includeva, oltre alla componente architettonica, anche la componente strutturale e quella relativa alle attrezzature di cantiere. L'organizzazione del lavoro, la metodologia utilizzata, i processi progettuali attuati, nonché la loro modalità di gestione e ottimizzazione, hanno portato alla scelta di rimuovere completamente dal modello il tetto e il relativo telaio strutturale, nell'ottica di una loro realizzazione *ex-novo*.

Per cui, in questa parte della tesi, non ci si è occupati della modellazione di tutto il complesso del santuario del Trompone, ma solo del **manto di copertura**, del **telaio strutturale** e delle **attrezzature di cantiere**.

È utile ricordare che, grazie alla scelta di operare sin dalle prime fasi con le coordinate condivise, tutti i modelli utilizzati per questa fase di modellazione hanno appunto le stesse coordinate, come anche le stesse griglie e gli stessi livelli per quanto riguarda i riferimenti spaziali. Questo garantisce, grazie alla corretta sovrapposizione dei modelli, l'esclusione di possibili problemi di georeferenziazione.

FIG. 4.1.a
Modello 3D esploso

4.1.1 Modello architettonico

Per quanto riguarda la modellazione architettonica, sulla base della suddivisione dell'area d'intervento in tasselli (vedere capitolo "3.5 - Definizione del modello - tassellazione"), la cui esigenza è stata dettata dall'organizzazione delle attività che prevedeva il termine della giornata lavorativa senza che vi siano porzioni di copertura aperte, si è proceduto inizialmente, come di seguito visualizzato, con la creazione del primo **tassello**, di area $7,5 \text{ m}^2$, appartenente alla navata centrale (FIG 4.1.1.a).

Dopo aver completato la creazione di questo primo tassello, esso è stato duplicato e modificato di conseguenza in base alla nuova posizione che avrebbe dovuto assumere, il grado di inclinazione e le dimensioni.

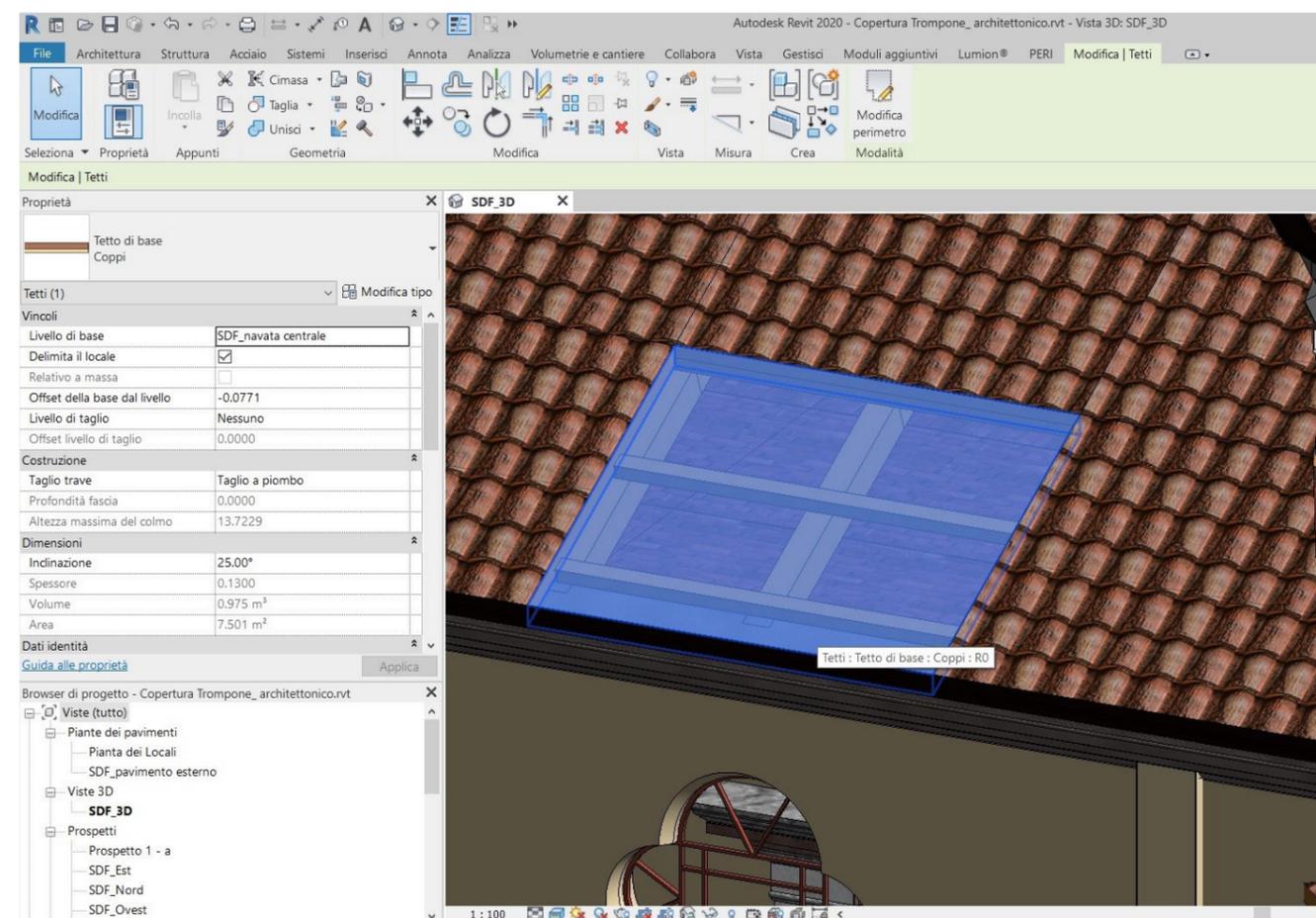


FIG. 4.1.1.a
Creazione del primo tassello appartenente alla navata centrale. Nel pannello delle proprietà è possibile visualizzare le informazioni circa le sue dimensioni

Tale procedura è stata ripetuta più volte fino alla completa realizzazione del tetto. Si riporta di seguito una vista dell'intero manto di copertura (FIG 4.11.b).

Rimanendo sul modello architettonico, l'ultima operazione effettuata ha previsto la creazione dei **locali**, indispensabili per la successiva assegnazione del codice posizione, tramite l'utilizzo di Dynamo, ad ogni singolo tassello (vedere capitolo "codice posizione"). La determinazione dei locali all'interno del software Revit è una procedura molto semplice e intuitiva, poiché permette la creazione di un locale grazie al riconoscimento automatico dei cosiddetti "delimitatori dello spazio", quali i muri e i solai; nel nostro caso, però, tale procedura non è stata possibile in modo "diretto" poiché

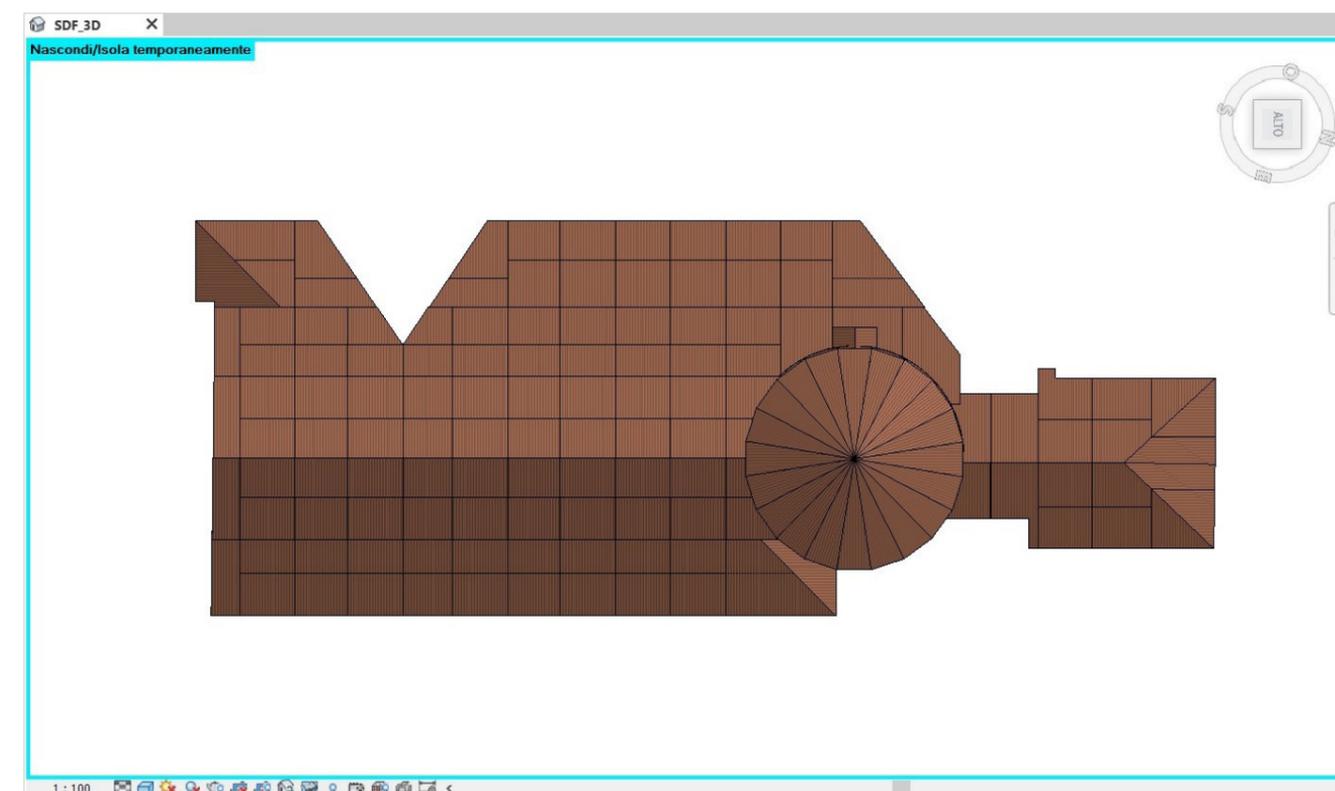


FIG. 4.11.b
Vista in pianta del manto di copertura; in evidenza la tassellazione organizzata secondo una griglia ben precisa

sul modello architettonico di base gran parte dei muri perimetrali sono stati modellati in modo insoddisfacente; un altro motivo riguarda anche l'assenza di alcuni solai sottotetto, come nel caso della rotonda, e delle partizioni interne alla chiesa; questi motivi quindi sono risultati come vincolo per la delimitazione dei locali in modo automatico in Revit. Per cui, essi sono stati creati manualmente disegnandone il perimetro e definendone poi l'altezza (non collegata) di circa 15 metri, in modo da esserne certi che il volume stesso potesse inglobare interamente la copertura (FIG 4.1.1.c).

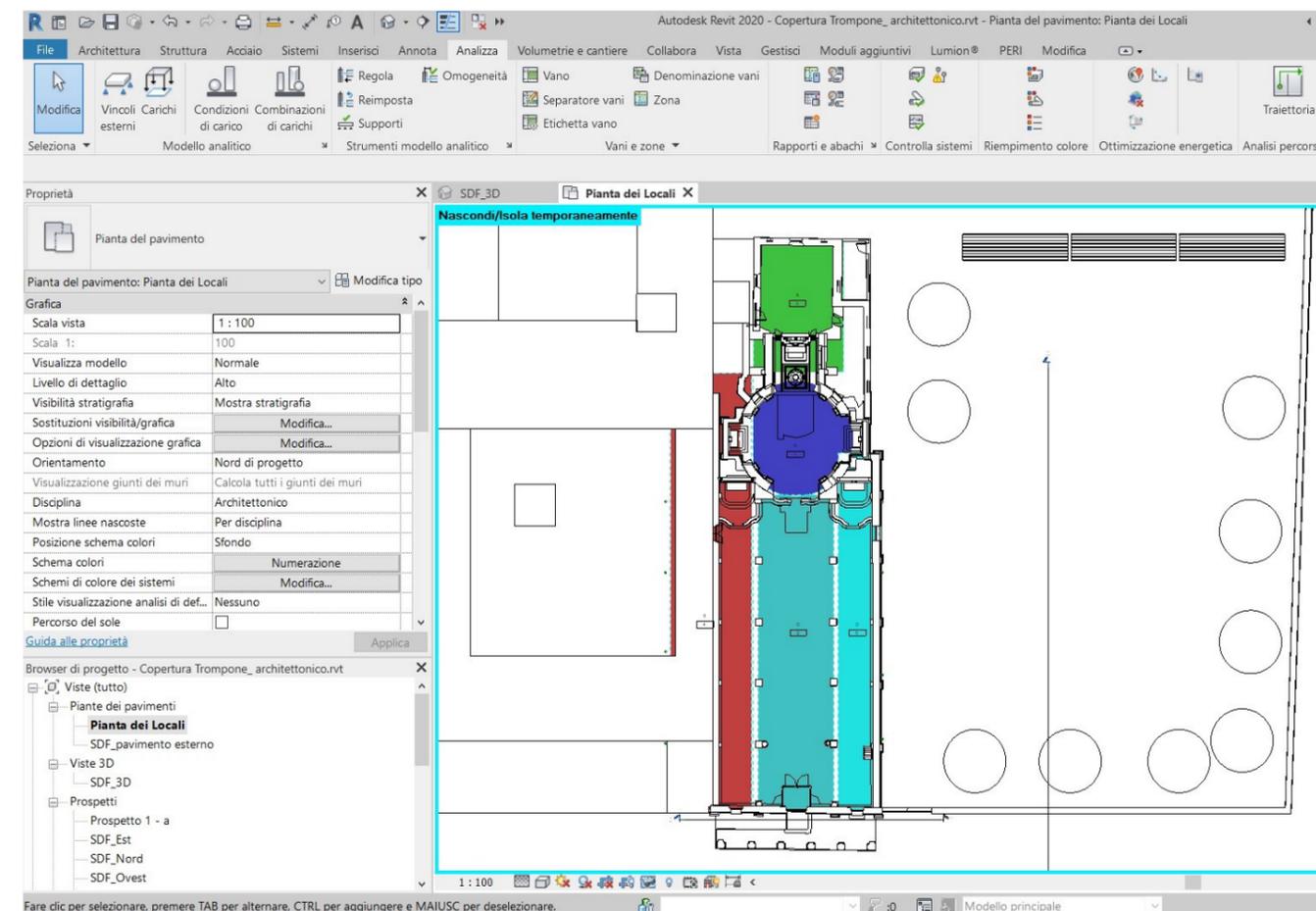


FIG. 4.1.1.c
Vista in pianta dei locali riferiti alle diverse posizioni: navata centrale, navate laterali (destra e sinistra), rotonda, abside

4.1.2 Modello strutturale

Come descritto nel capitolo "3.3 - Impostazioni del modello federato", al modello strutturale è stato linkato il modello architettonico, in modo da avere una base di appoggio durante la modellazione del telaio strutturale; questo è servito per assicurare il giusto allineamento dei muri e per analizzare eventuali interferenze tra i due modelli.

La copertura, suddivisa attualmente in porzioni, deve essere sorretta da una fitta rete di travi di due tipologie, primarie e secondarie, identificate nel modello architettonico precedente e nelle foto realizzate durante i due sopralluoghi avvenuti nel corso della modellazione. Per cui, la prima operazione necessaria è stata quella di caricare una famiglia tipo di trave semplice in legno e successivamente modificarne la sezione per adattarla a quella realmente presente. Dopo di che sono stati creati più sistemi di travi, i quali, singolarmente, consentono di aggiungere un unico elemento di telaio strutturale contenente una serie di singole travi tra loro parallele. Si riporta una vista (FIG 4.1.2.a) delle travi strutturali estrapolata dal modello.

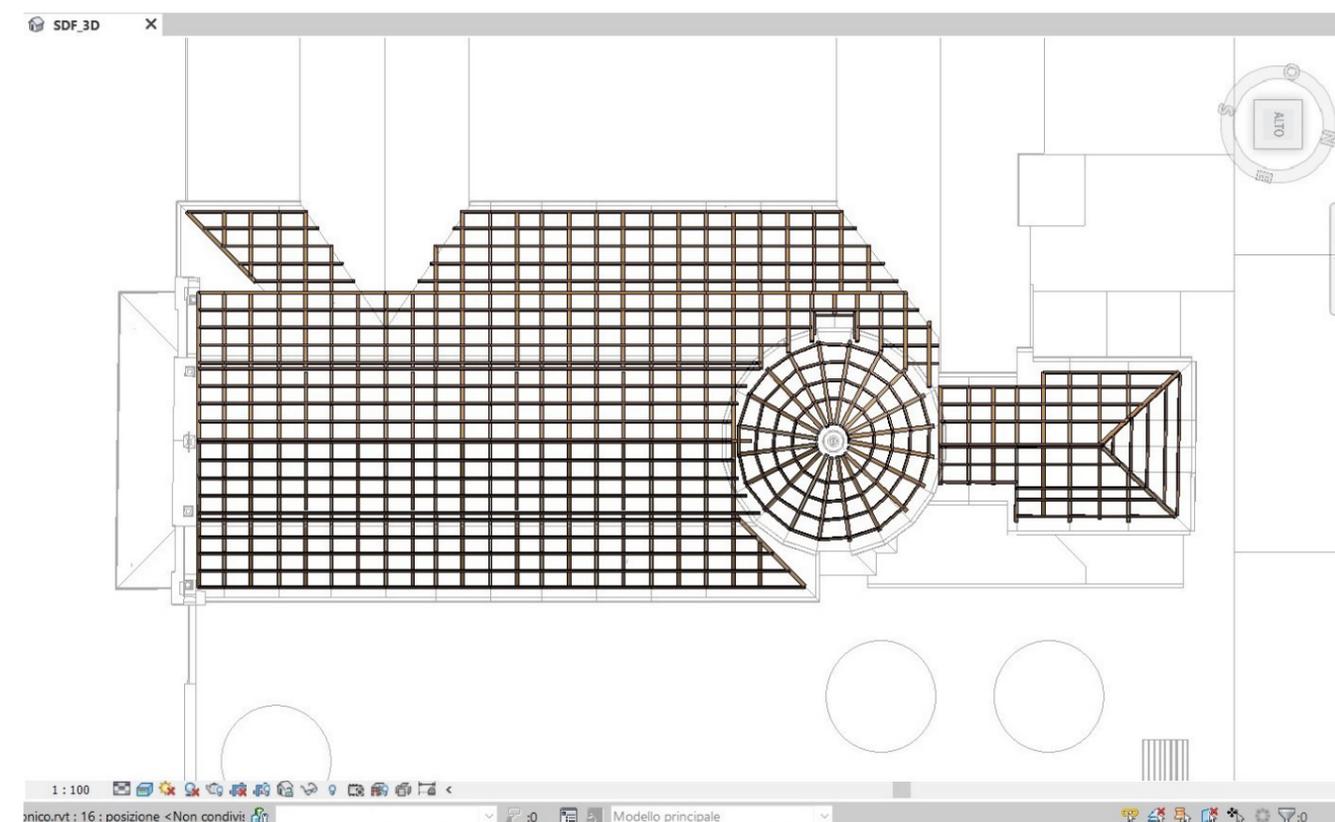


FIG. 4.1.2.a
Vista in pianta del telaio strutturale

4.1.3 Modello di cantiere

Successivamente si è passati al terzo modello 3D, quello cioè delle opere provvisorie, anch'esso realizzato sulla base del modello architettonico. Gli elementi modellati al suo interno rappresentano principalmente le attrezzature e i mezzi utilizzati per la fase di costruzione dell'opera.

Diversamente dal lavoro svolto per la creazione degli altri due modelli di Revit riguardanti la componente architettonica e strutturale, per la creazione del modello del cantiere non sono stati prettamente utilizzati solo i comandi inerenti alla progettazione vera e propria, ma, come definito dal **D.Lgs. 81/2008**, testo unico sulla sicurezza nei luoghi di lavoro, sono state anche caricate una serie di opere provvisorie, comprendenti le recinzioni di cantiere per la delimitazione dell'area, dei baraccamenti e dell'area di stoccaggio, i ponteggi di accesso alle coperture, le baracche di cantiere e il mezzo utilizzato per la fase di rimozione e stoccaggio dei materiali (camion con gru). La modellazione si è basata dunque quasi esclusivamente nel posizionamento dei diversi componenti secondo scelte accurate, come visibile nell'immagine (FIG 4.1.3.a) riportata di seguito.

Data l'insufficiente presenza di famiglia in questione all'interno della libreria del software Autodesk Revit, gran parte degli oggetti sono stati scaricati da librerie esterne presenti sul web, disponibili nel formato .rfa delle famiglie di Revit, ed importati all'interno del progetto. Tuttavia, non essendo stato possibile trovare tutti gli oggetti necessari ed adeguati per questo specifico progetto del cantiere, in alcuni casi, è stato essenziale modificare alcuni parametri già impostati degli oggetti esistenti, come nel caso dei ponteggi. Mentre, per quanto riguarda i parapetti di protezione si è preferito creare la **famiglia parametrica** a seconda delle esigenze (FIG 4.1.3.b).

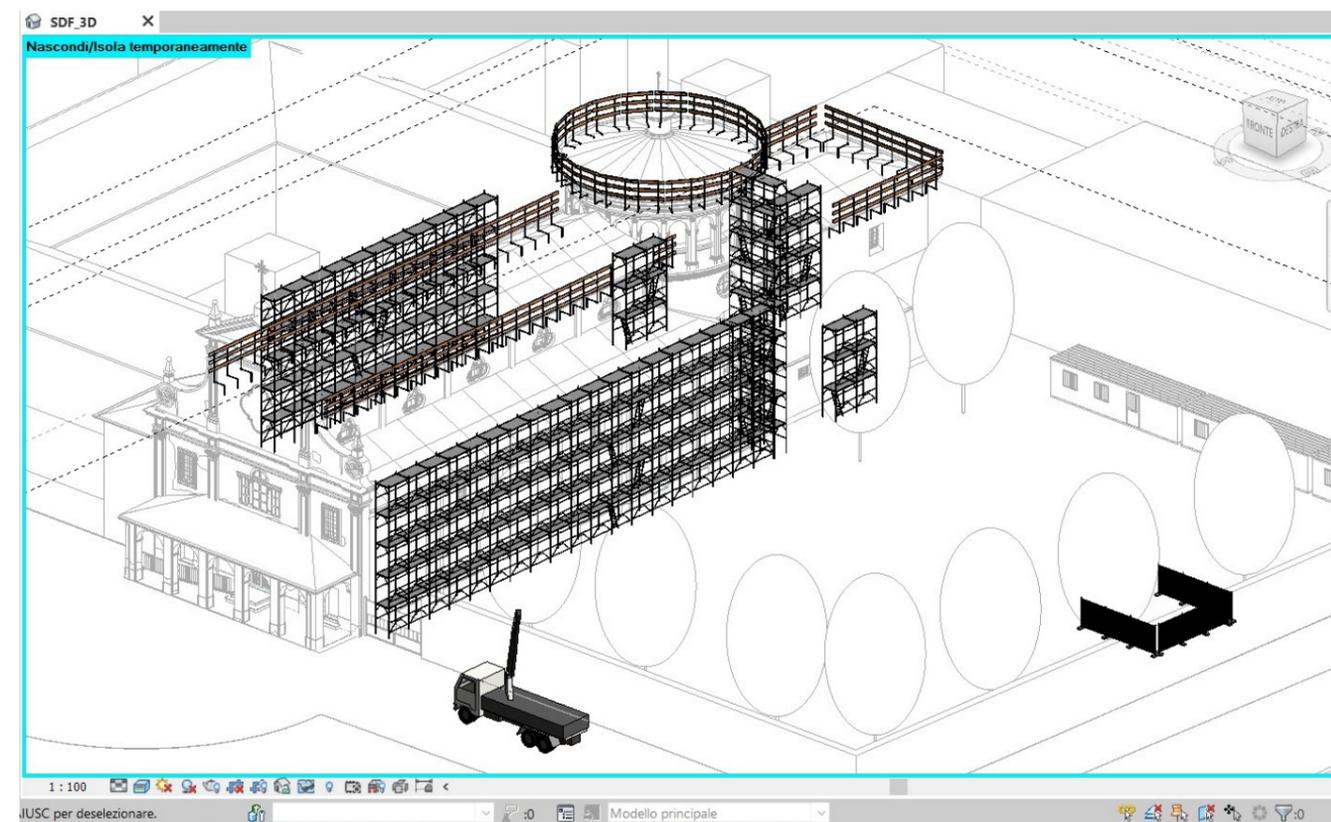


FIG. 4.1.3.a
Vista del modello del cantiere

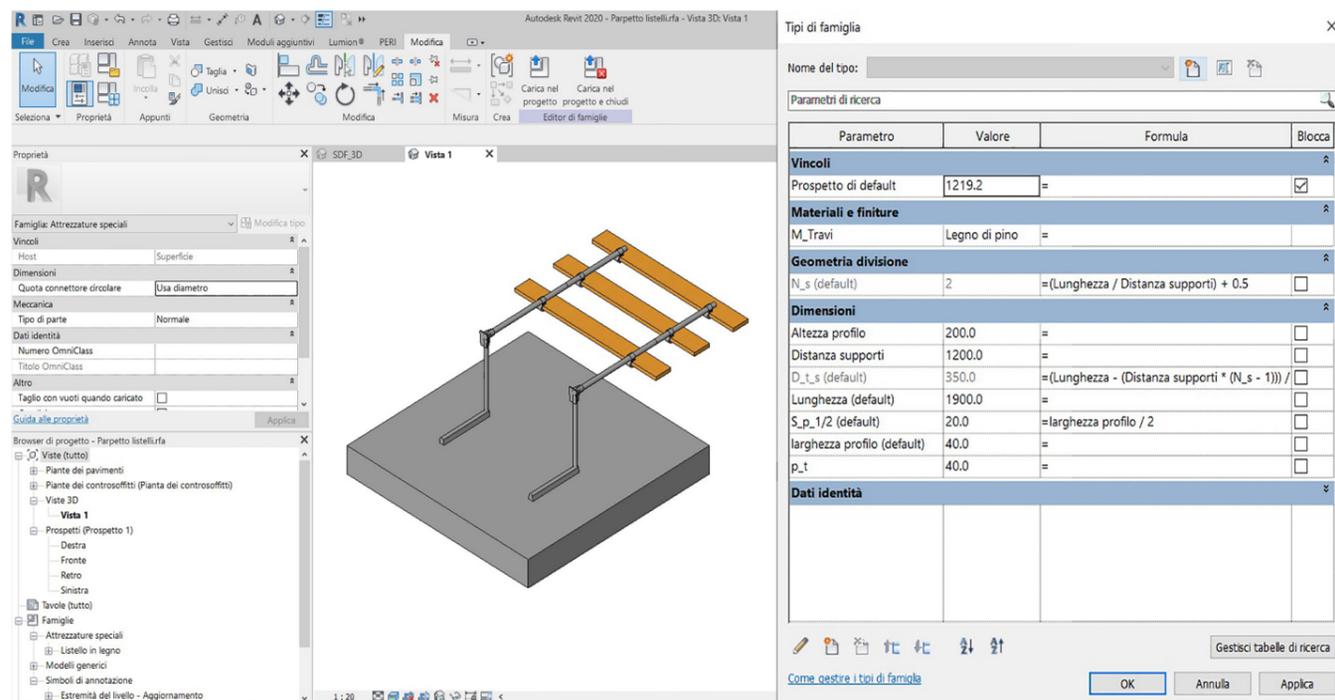


FIG. 4.1.3.b
Modello del parapetto di protezione comprensivo delle informazioni inerenti alla specifica creazione della famiglia



4.2

FIG. 4.2.a
Immagine
da Matrix
Reloaded

Assegnazione codici VLP con Dynamo

Contemporaneamente all'aggiornamento del modello è stato necessario identificare un sistema per poter associare i vari codici, sotto forma di parametri condivisi, agli elementi del modello. Per evitare di dover compilare manualmente i diversi campi si è optato per ricorrere alla scrittura di algoritmi che automatizzino il processo. Data la forte interoperabilità con Revit, l'accesso gratuito e la semplicità di linguaggio, per la stesura degli *script* è stato impiegato Dynamo, una piattaforma di **programmazione visiva VPL** (*Visual Programming Language*), *opensource*.

Il vantaggio di utilizzare il VPL rispetto alla programmazione classica è che non è necessario conoscere un linguaggio specifico ma basta collegare tra loro diverse funzioni, dette "nodi", per ottenere il risultato obiettivo.

4.2.1 Codice posizione

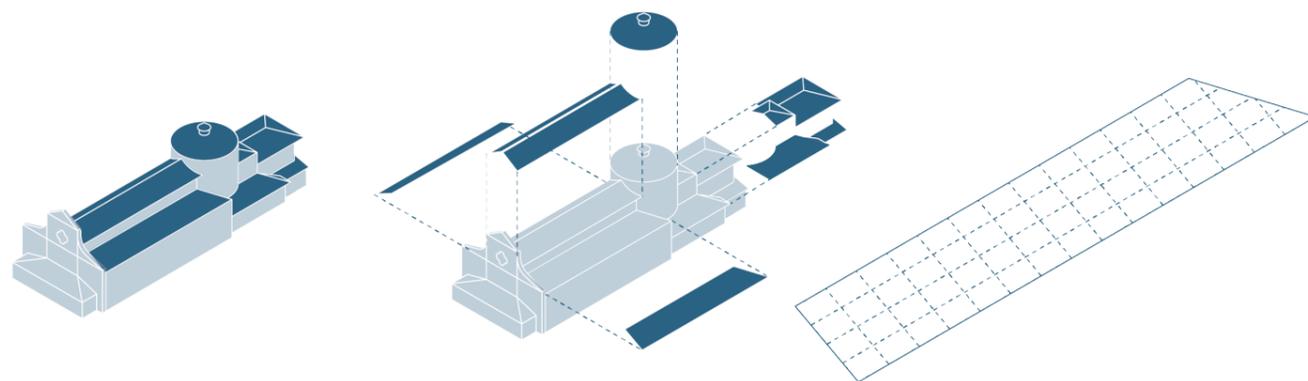


FIG. 4.2.1.a
Schema della
modalità di
tassellazione

La versione definitiva dell'algoritmo del Codice Posizione è stata raggiunta dopo svariate ipotesi e tentativi. L'obiettivo è sempre rimasto lo stesso: ottenere un codice a due livelli composto da tre cifre. La prima cifra (primo livello) ha il compito di identificare a quale porzione continua di copertura l'elemento fa riferimento, se si trova nella navata centrale (C), in quella destra (D), sinistra (S), sulla rotonda (R) o nell'abside (A). Le seconde due cifre sono una numerica e una alfabetica, in modo che, dividendo ogni porzione continua di copertura in righe e colonne e associando alle prime le lettere dell'alfabeto e alle seconde, numeri interi positivi, si possa identificare un **tassello**, come nel gioco della battaglia navale.

Un esempio di codice è **CA1**, che connota la prima posizione, prima riga e prima colonna, nella navata centrale.

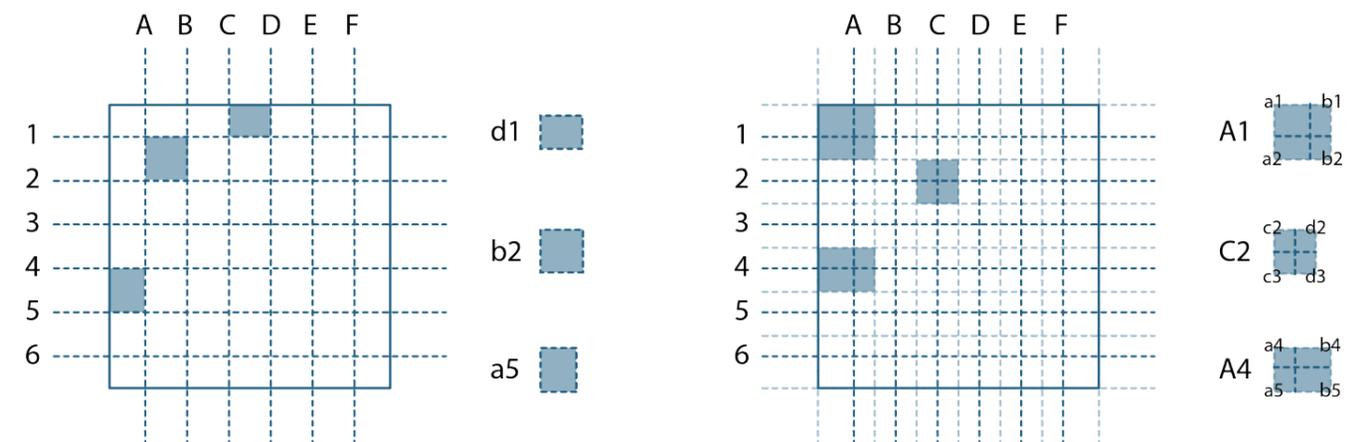


FIG. 4.2.1.b
Schema
esemplificativo
della prima prova
di script

In prima battuta gli sforzi si sono stati concentrati per ottenere la **seconda parte del codice**.

La prima idea si basava su un modello nel quale la copertura fosse già divisa in tasselli secondo un sistema di griglie, delle quali le verticali erano nominate secondo le lettere dell'alfabeto e le verticali secondo numeri cardinali. Lo *script*, calcolando quale fosse la coppia di griglie ortogonali più vicine all'oggetto, componeva il codice con il loro nome. Questa **prima idea** aveva come vantaggio la possibilità di regolare le dimensioni dei tasselli utilizzando le griglie come riferimento, ma fu scartata in quanto l'intersezione di due griglie non coincideva con un tassello bensì con quattro quarti di quattro differenti tasselli (FIG 4.2.1.b).

La **seconda versione**, per far sì che l'intersezione delle griglie coincidesse esclusivamente con un tassello, abbandonava l'idea di utilizzare le griglie come riferimenti per i bordi dei tasselli, ma le generava a partire dal centro di ognuno.

La logica di denominazione e il sistema di composizione del codice rimaneva invariata. Questo metodo era funzionante con una forma regolare nella quale ogni tassello avesse la medesima forma degli altri. Purtroppo, con geometrie irregolari o con tasselli di forma differente, la maglia che si veniva a formare era troppo fitta e all'interno di alcuni tasselli si trovavano più intersezioni di griglie (FIG 4.2.1.c).

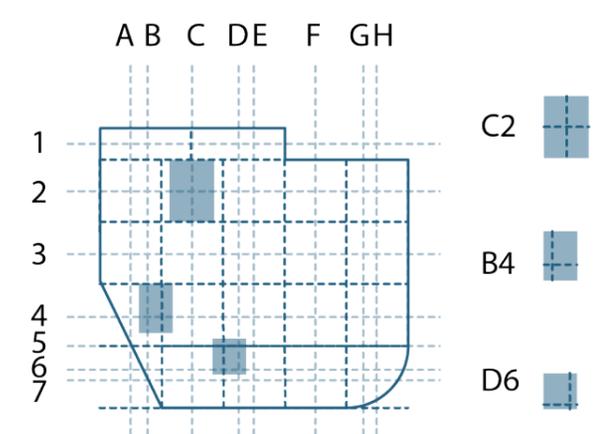
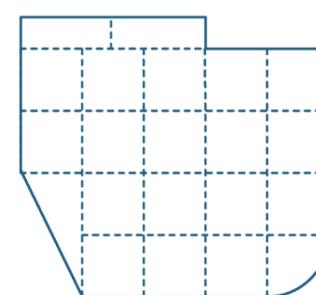
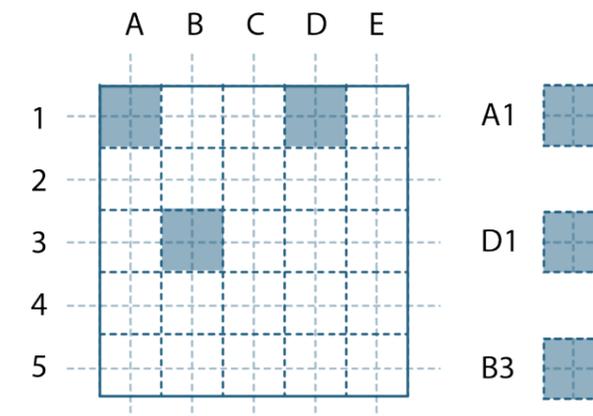
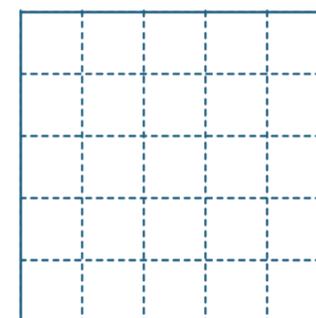


FIG. 4.2.1.c
Schema
esemplificativo
della seconda
prova di script

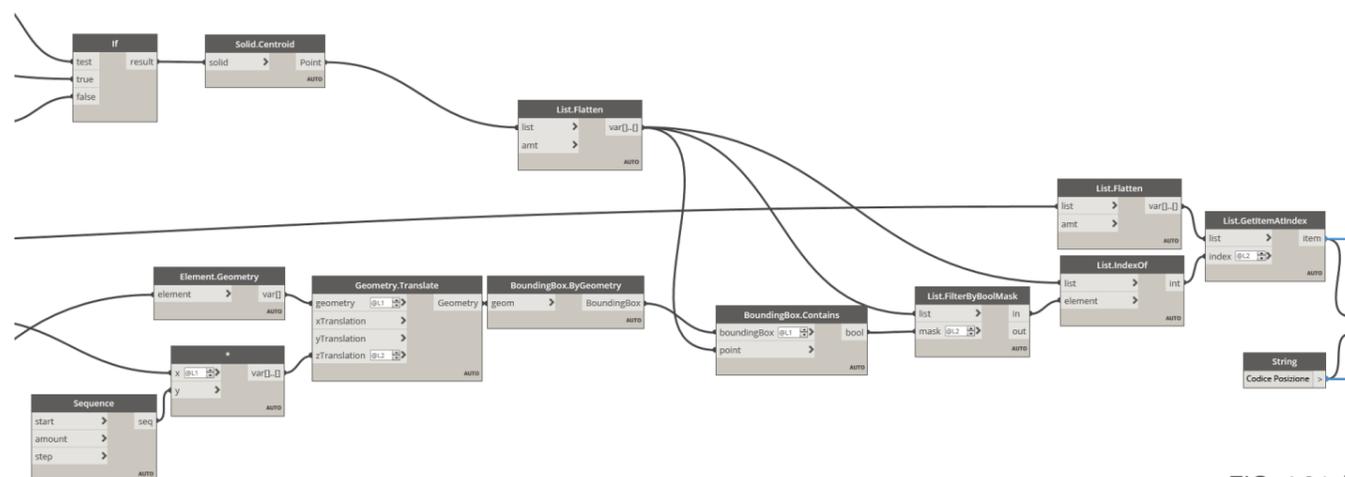


FIG. 4.2.1.d
Porzione di script in cui è mostrata l'identificazione dei locali di appartenenza

Per garantire la massima libertà di forma dei tasselli e per poter operare su superfici dalla forma irregolare è stata diminuito l'automatismo dello *script* abbandonando il sistema delle griglie. Nella versione finale è stato necessario associare il nome all'elemento tetto che sormonta tutti gli elementi che compongono il tassello. L'algoritmo, sempre secondo il sistema dell'elemento più vicino, trasmette il codice dal tetto agli elementi che vi stanno sotto, sovrascrivendo il campo.

Nonostante dalla prima versione si sia perso automatismo l'algoritmo risulta comunque utile, in quanto, garantendo la massima libertà di geometria, comporta una riduzione del lavoro:

$$R = \frac{\sum_{j=1}^n t_j}{\sum_{j=1}^n \sum_{i=1}^m e_{i,j}}$$

Dove n sta per il numero di tasselli (t) e m_j sta per il numero di elementi di un tassello j -esimo.

Generalmente al di sotto del tetto preso in analisi vi sono 7 elementi e le porzioni identificate sono circa 130. Dunque, compilando a mano 130 voci ed eseguendo lo *script*, si ottiene la compilazione automatica di circa altre 910 voci.

La **generazione della prima lettera** del codice posizione, invece, si basa su locali. Tramite masse sono stati definiti locali che seguono la geometria delle navate, della rotonda e dell'abside. L'algoritmo da una parte decuplica in altezza i locali, dall'altra calcola i centroidi dei solidi che compongono la copertura, e in secondo luogo verifica quali oggetti "tetto" hanno il centro in quale locale (FIG 4.2.1.d). Definite le liste di elementi, associa la prima

lettera del nome del locale come prima lettera del codice. Nella fase di associazione viene fatto in modo che il codice rimanga composto da tre caratteri e che venga modificato solo il primo, al fine di evitare un'aggiunta di caratteri nel caso lo *script* venga eseguito più volte. Per alleggerire la computazione, queste operazioni avvengono solo per gli elementi "tetto" in quanto il trasferimento del codice agli elementi sottostanti è oggetto della porzione di algoritmo descritta in precedenza.

4.2.2 Codice Fase

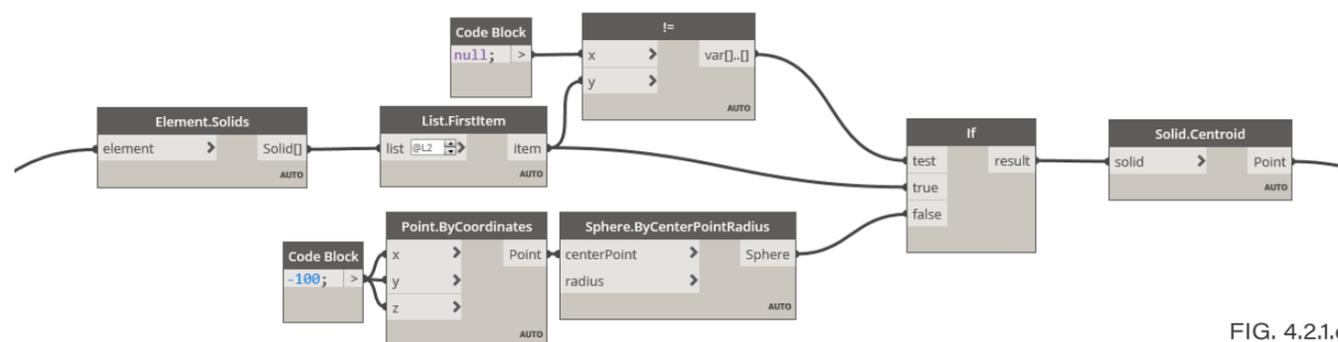


FIG. 4.2.1.e
Porzione dello
script in cui sono
inserite le sfere

Nell'impiego di questi *script* in altri progetti è da porre particolare attenzione alla fase di identificazione dei centroidi degli elementi.

Per determinare le posizioni degli oggetti è stato utilizzato il nodo di Dynamo "Element.Solids", che identifica i solidi che compongono l'oggetto, in funzione del nodo "Solid.Centroid", che si occupa di restituire il punto centrale di un solido.

Quando un elemento presenta una geometria non tridimensionale il risultato di "Element.Solids" è "null" e quando "null" viene letto da "Solid.Centroid" si verifica un errore nei risultati, tale da impedire anche un parziale successo dell'algoritmo.

Come mostrato in figura (FIG 4.2.1.e) per ovviare a questo problema è stato inserito un filtro che

trasforma gli *output* "null" di "Element.Solids" in sfere di raggio unitario con centro in coordinate (-100,-100,-100), posizione che in questo progetto di tesi è molto lontana dalla geometria dell'edificio, ma che può risultare problematica in altri contesti.

Data la componente temporale del modello e la necessità di analizzare e catalogare gli elementi in base alle loro caratteristiche 4D è sorta la volontà di sviluppare uno *script* che accelerasse e automatizzasse il processo di compilazione di un parametro, denominato "Fase", relativo alle fasi dell'elemento. Le prerogative per la stesura di quest'algoritmo erano: l'univocità degli elementi nel modello evitando che vi fossero copie dello stesso elemento con fasi differenti, e la possibilità di ottenere lo stesso risultato a prescindere da quale vista fosse aperta su Revit. Avendo la possibilità su Revit di attribuire, sotto forma di parametri, la fase di creazione e quella di demolizione di un elemento l'idea è stata quella di determinare il codice basandosi su queste due informazioni.

Gli elementi fondamentali dello *script*

sono, dunque, il nodo che identifica fase di demolizione e di creazione "Element.Phases" (questo nodo fa part del pacchetto Clockwork, ma è possibile anche ottenere i valori dei parametri con due nodi tipo "Element.GetParameterValueByName") (FIG 4.2.2.a), il nodo "Select Phase" che con un menù a tendina permette di selezionare una fase del progetto, e il nodo "List.SetIntersection" (FIG 4.2.2.b) che, come dice il nome, ha come *output* l'intersezione di due liste.

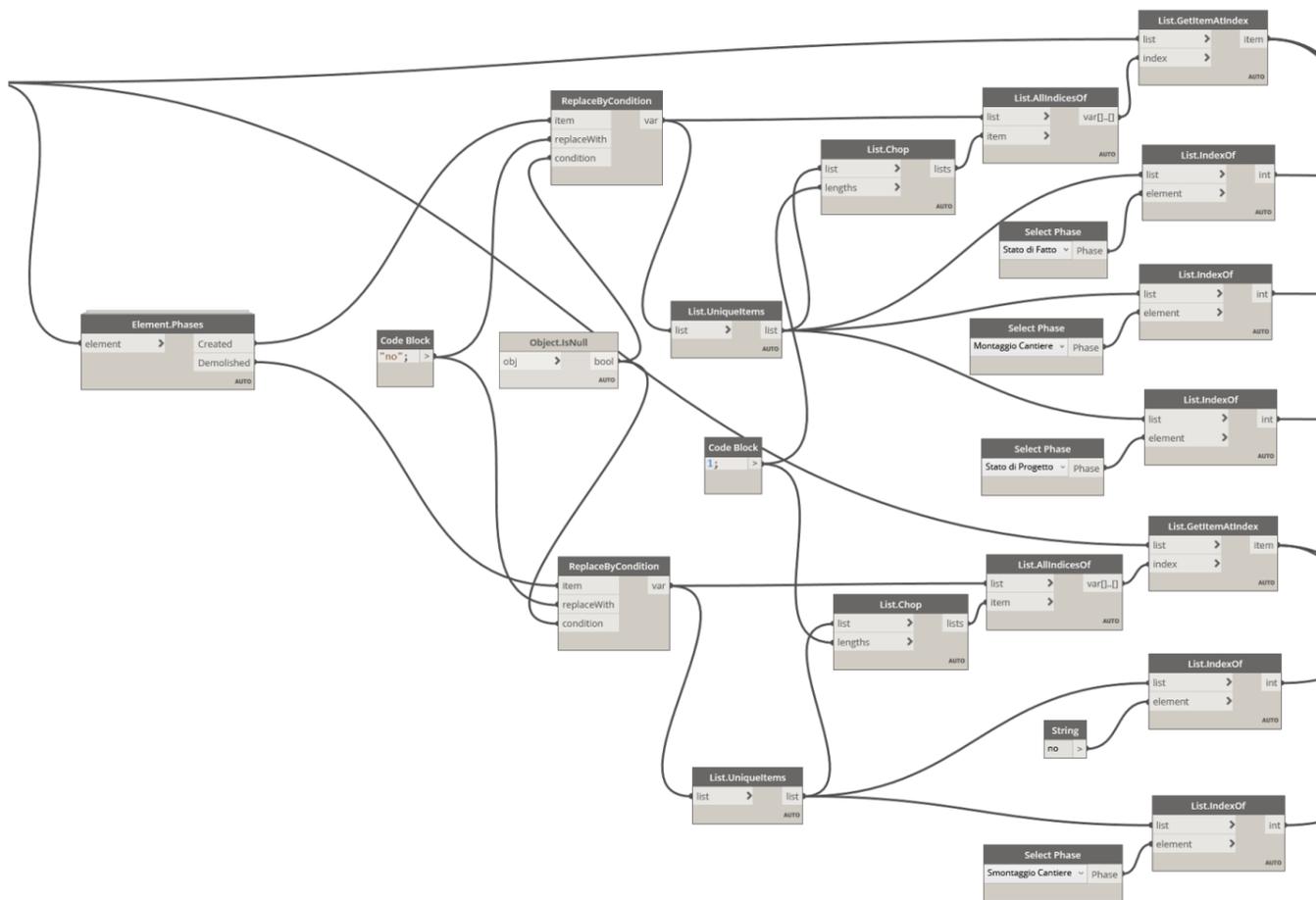
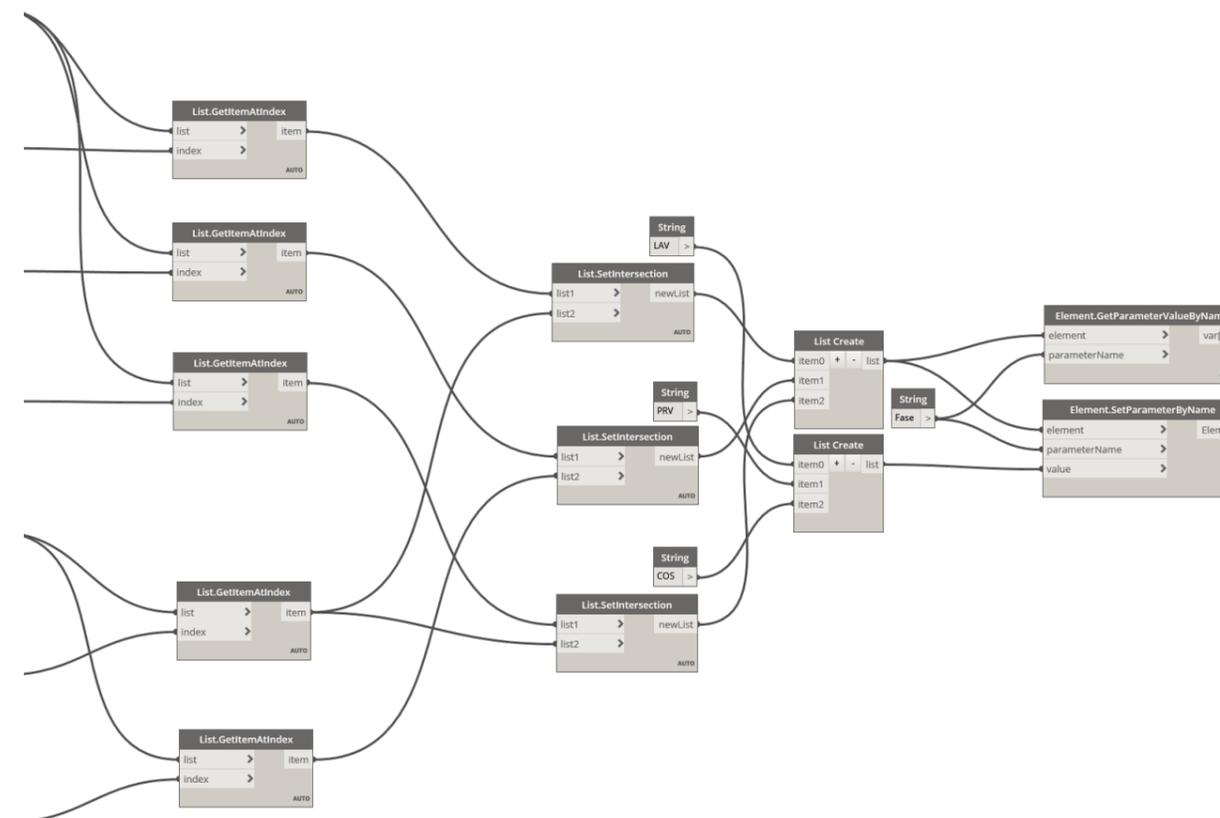


FIG. 4.2.2.a
In questa pagina.
prima parte dello script

FIG. 4.2.2.b
Nella pagina accanto.
seconda parte dello script



La composizione dello **script è ad hoc** per il progetto e, vengono identificate tre fasi di costruzione e due di demolizione. Attraverso l'intersezione delle liste degli oggetti avente una determinata fase di creazione e una specifica fase di demolizione vengono identificati gli oggetti ai quali impostare il valore del parametro "Fase". Ad esempio, in caso un elemento sia costruito durante la fase

di "Montaggio Cantiere" e demolito in quella di "Smontaggio Cantiere" vedrà compiliarsi il parametro "Fase" con il codice "PRV", specifico delle opere provvisorie. Nonostante la composizione dell'algoritmo sia pensata per il progetto di questa tesi nello specifico, la struttura è facilmente ampliabile nel caso si vogliono identificare più codici utilizzando più fasi.

4.2.3 Applicazione fasi

Poiché il lavoro di tassellazione ha comportato l'aggiunta di diversi elementi nel modello e poiché nella modifica del modello sono state eliminate delle fasi, è sorta la necessità di riassociare i parametri di "Fase di costruzione" e "Fase di demolizione". Per l'ottenimento di tale scopo è stato scritto *ad hoc* un *tool* che compilasse i campi in maniera rapida. Attraverso la selezione di alcuni elementi appartenenti a determinate categorie, e utilizzando i nodi "Select.Phase" e "Element.SetParameterByName" è stato possibile agire contemporaneamente sui parametri di una moltitudine di elementi per impostare i valori corretti.

4.2.4 Codice tipologie

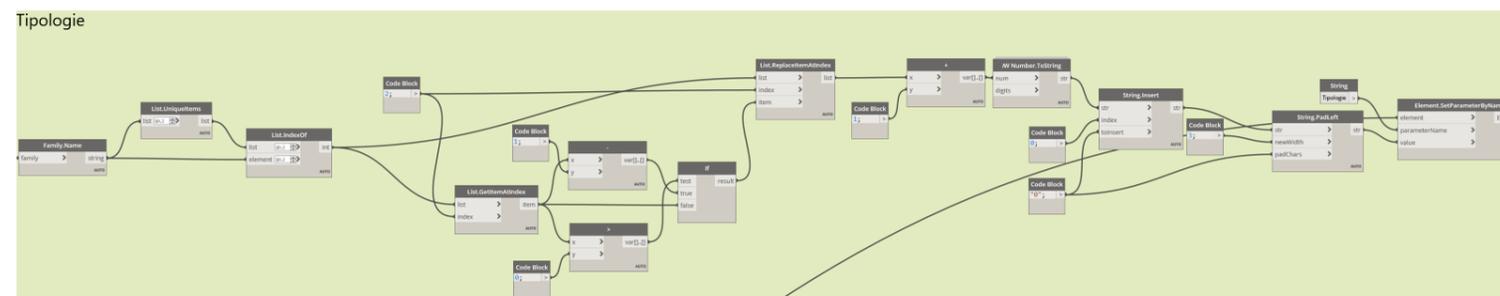


FIG. 4.2.4.a
Script di scrittura
del codice
tipologie

Per avere un maggiore controllo e poter differenziare gli elementi in base alle loro caratteristiche, al sistema di classificazione è stato aggiunto un ulteriore livello definito "Tipologia", un codice da tre cifre cardinale del tipo "001". Questo livello si rifà al concetto di tipi di Revit, differenziando gli elementi appartenenti ad una classe, ad esempio da B1020 (secondo lo standard UniFormat, Roof Construction, in questo caso nell'accezione di telaio strutturale), aggiungendo il "Codice Tipologie" si ottiene B1020.001 (Grossa orditura del telaio strutturale) e B1020.002 (Piccola orditura del telaio strutturale). Grazie a questa distinzione, il lavoro di selezione sugli altri applicativi (vedasi Synchro e PriMusIFC) non ha necessitato della definizione di regole particolari, ma è stato sufficiente fare riferimento al codice.

Facendo riferimento ad una distinzione interna a Revit, l'algoritmo non ha necessitato di una scrittura complessa. In primo luogo, il *tool* seleziona gli elementi delle categorie alle quali si vuole applicare il codice, poi compone una lista indicizzata delle tipologie per categoria presenti nel file .rvt, aumenta l'indice di uno in quanto la prima voce presenta indice "0", aggiunge un numero di "0" in modo che le cifre del codice siano tre e, infine, applica il codice agli elementi in base alla loro tipologia. Dato che alcune i tipi delle famiglie fanno riferimento alle stesse caratteristiche (vedasi "Capriata - con Monaco 18x18" e "Legno 200x250" che sono entrambe "Grossa orditura del telaio strutturale") sono stati inseriti dei correttori puntuali per fare in modo che presentino lo stesso indice.

4.2.5 Codici composti

I codici descritti in precedenza concorrono, assieme ad altri, a comporre quelli più complessi e identificativi degli elementi. Come esposto nei capitoli precedenti, al fine del *Construction Management*, nell'organizzazione del progetto e nella quantificazione economica, si utilizzano codici più complessi come la WBS e il Codice Attività. Questi strumenti non sono altro che la **concatenazione di più stringhe** che identificano i vari livelli. In questo lavoro di tesi la WBS è stata strutturata in: "Nome Progetto", "Fase", "Elementi Individuali", "Tipologie"; in ordine dal primo al quarto livello. Il Codice Attività è stato composto, in ordine, da: "Nome Progetto", "Fase", "Elementi Individuali", "Tipologie", "Codice Posizione". Il Codice identificativo, invece, da: "Sito", "Intervento", "Disciplina", "Codice categoria", "Tipologie" e dal "Codice Posizione".

In Dynamo è bastato richiamare i valori dei parametri necessari alla composizione del codice per ogni elemento e concatenarli inserendo il carattere "." In modo da compilare i campi relativi a WBS, Codice Attività e Codice Identificativo (FIG 4.2.5.a).

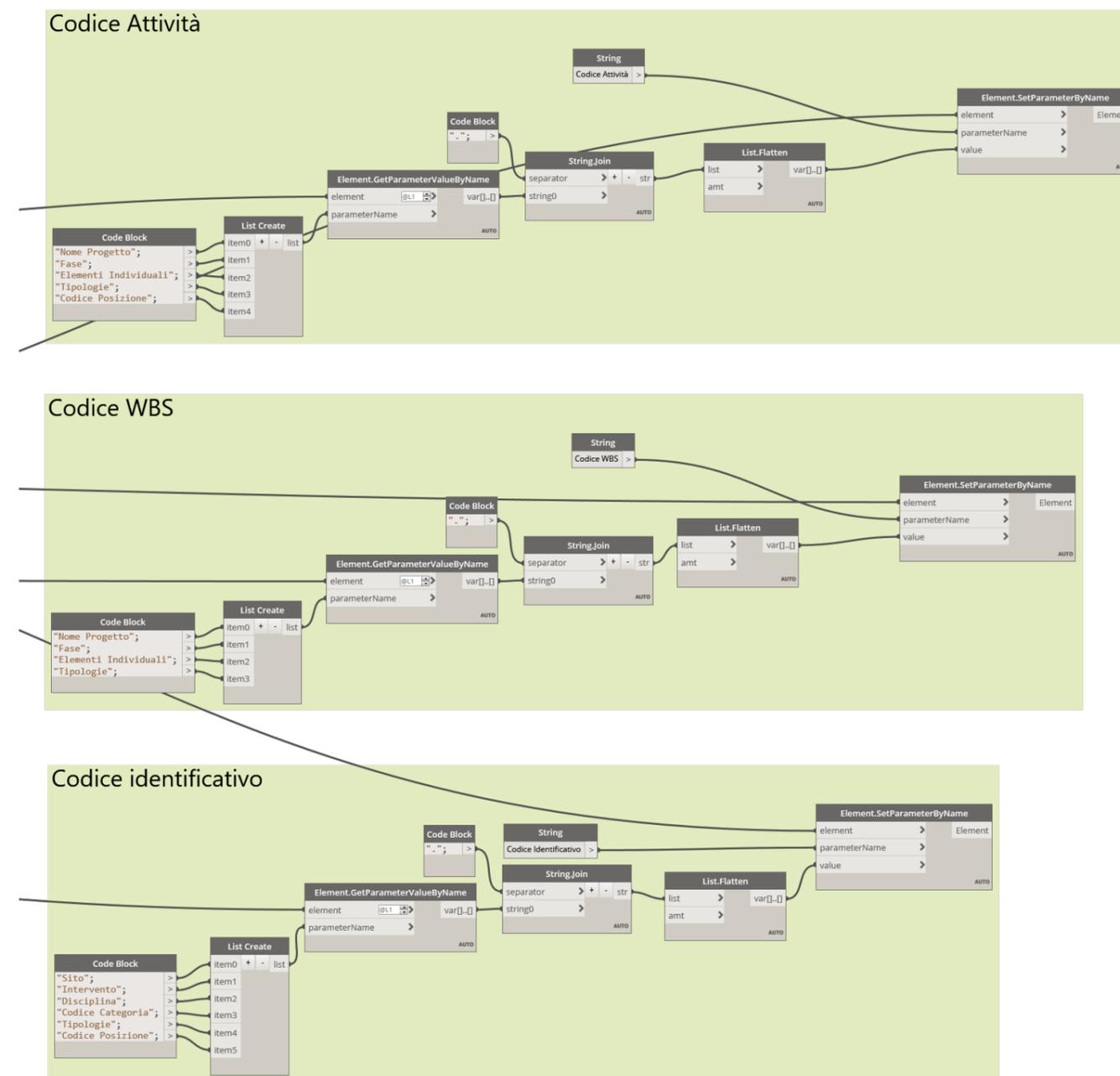


FIG. 4.2.5.a
Script di scrittura dei
codici composti

4.2.6 Altri codici

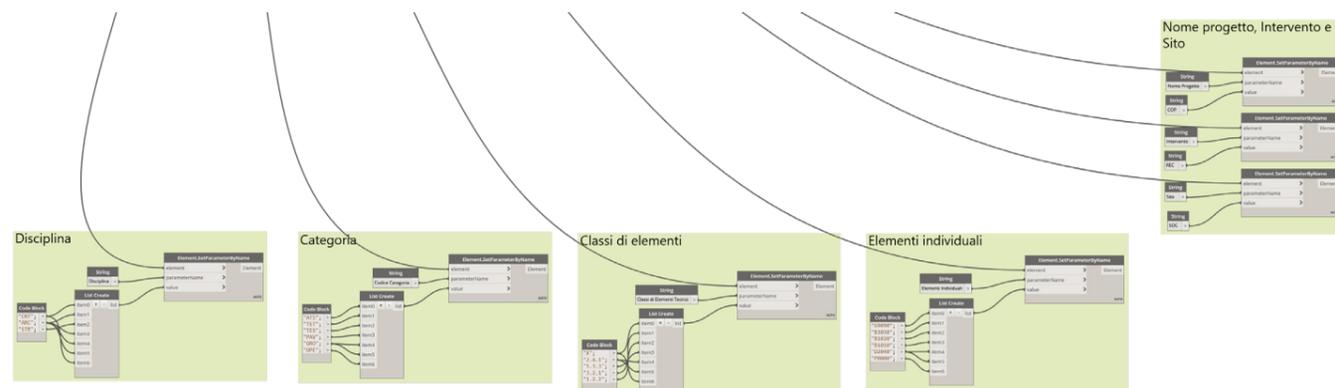
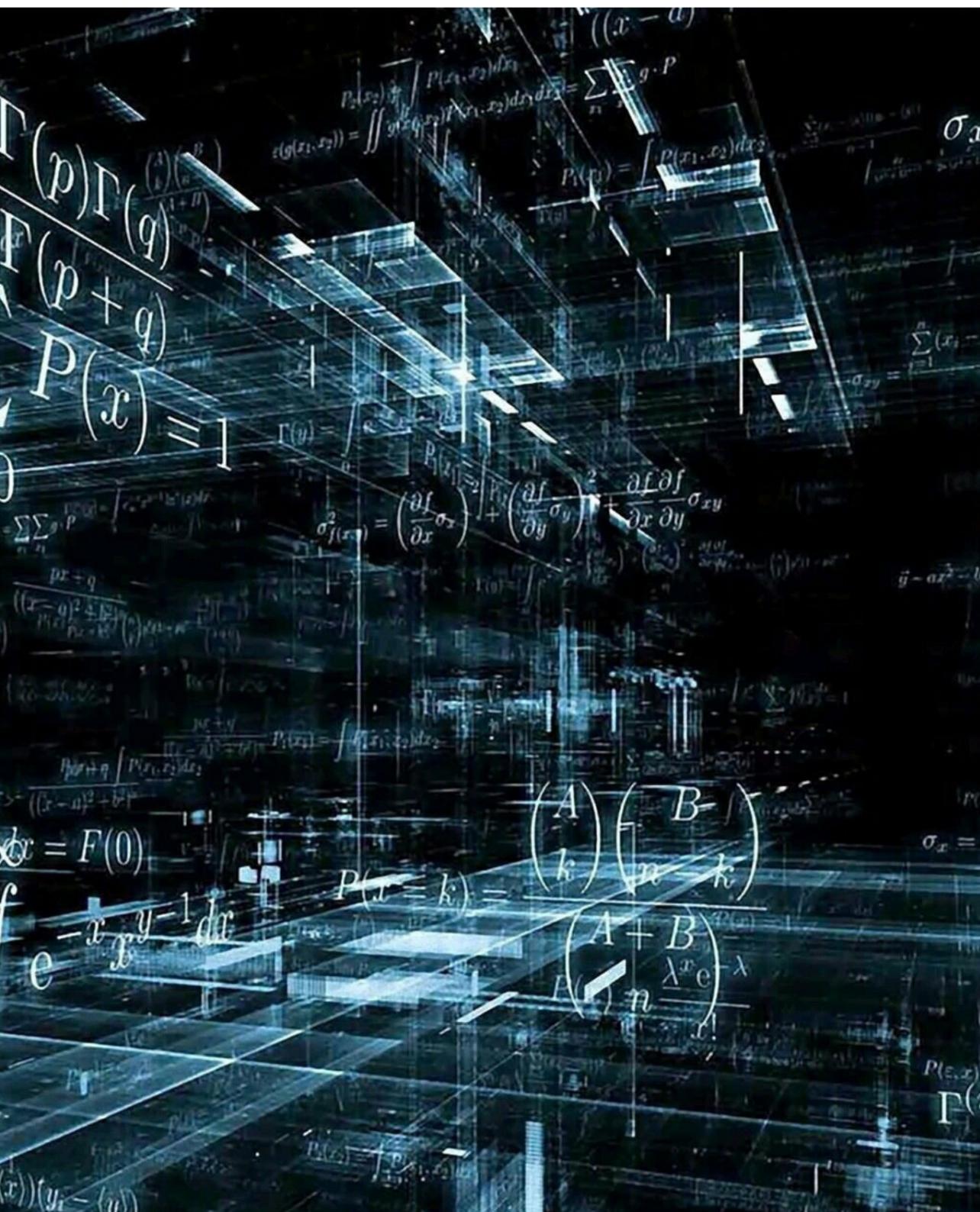


FIG. 4.2.6.a
Script di scrittura
dei codici esposti
nel capitolo

Per avere una maggiore descrizione degli elementi del progetto sono stati identificati altri codici. Di questi: "Nome Progetto", "Sito" e "Intervento", hanno i medesimi valori per ogni elemento del cantiere della copertura, rispettivamente: "COP", "REC" e "SOC".

Quelli legati alla disciplina, alla categoria, alla classe di elementi tecnici e agli "Elementi Individuali", presentano valori che non sono i medesimi per ogni elemento, ma a partire dalle classi di Revit è semplice identificare quale valore corrisponderà. In quest'ottica i *tool* che associano i valori ai parametri sono stati scritti, per i primi, in modo che applichino il valore a tutti gli elementi del cantiere e per i secondi, associando i valori possibili alle classi di elementi.



4.3

Compilazione codici con Excel

Data l'impostazione del lavoro di gestione del progetto caratterizzata dalla tassellazione della copertura e la volontà di programmare le attività in modo che ogni tassello, inteso come l'insieme delle attività che si riferiscono ad esso, si completasse nell'arco di otto ore, la quantità di voci da compilare per la stesura del cronoprogramma è cresciuta notevolmente. Per accelerare la compilazione all'interno di MS Project del Codice Attività, per tutte le voci che si riferiscono ai tasselli (circa 2000), si è optato per generare il codice su MS Excel in modo da avere un **controllo maggiore** di esso.

Sfruttando l'interoperabilità tra i due software, entrambi appartenenti al pacchetto Microsoft, si è potuto collegare le celle del foglio Excel a quelle di MS Project in modo che le modifiche sul foglio di calcolo si riflettessero direttamente

nel software di pianificazione.

La struttura del file .xlsx è stata definita in seguito alla scrittura dei *tool* di Dynamo e, dunque, quando il Codice Attività era già stato definito nella sua composizione, ma non era ancora stato terminato il lavoro di modifica del modello .rvt, per cui non era possibile assumere i codici da Revit e ordinarli secondo l'impostazione del file di MS Project. Essendo conosciute le attività da eseguire per ogni tassello e l'aspetto che i codici attività avrebbero avuto, mancava la certezza della disposizione dei tasselli nel progetto, quanti e con che nome (Codice Posizione) per ogni area di progetto. Per questo motivo è stato composto un foglio di Excel, denominato **"Controllo"**, che riporta in una tabella la scansione delle attività per un modulo (Codice

FIG. 4.3.a
Immagine
evocativa
processi
informatici

Nome navata in ordine	Lettera finale	N° massimo
C	m	4
r	b	5
S	p	4
D	m	3
A	e	4

Modulo base
iniz
COP.LAV.B3030.001
COP.LAV.G9090.001
COP.LAV.B1020.002
COP.LAV.B1020.001
COP.LAV.B1020.001
COP.LAV.B1020.002
COP.LAV.B1010.001
COP.LAV.B1020.002
COP.LAV.B1020.001
COP.LAV.B3030.001
COP.LAV.B3030.001

	Tasselli da non considerare											non considerate	
C	a4	m3	m4										CA4 CM3 CM4
R													
S	a2	a3	a4	b4	c4	l3	l4	m3	m4	p3	p4		SA2 SA3 SA4 SB4 SC4 SL3 SL4 SM3 SM4 SP3 SP4
D	b3	c3	d3	e3	f3	g3	h3	i3	l3	m2	m3		DB3 DC3 DD3 DE3 DF3 DG3 DH3 DI3 DL3 DM2 DM3
A	a3	a4	b3	b4									AA3 AA4 AB3 AB4

FIG. 4.3.b
Tabelle con celle
compilabili del
foglio "Controllo"

WBS) e presenta due tabelle (FIG 4.3.b) con celle compilabili. La prima tabella serve ad indicare l'ordine delle navate e le rispettive lettere massime e numeri massimi (ad esempio la navata centrale "C" presenta lettere dalla A alla M e numeri da 1 a 4, quindi i campi compilati sono "C", "M" e "4"), la seconda tabella serve ad indicare quali codici non esistono (ad esempio, nella navata centrale la

lettera massima è la "M", e il numero massimo è il "4", ma non presenta nessun tassello con Codice Posizione "CA4", nemmeno con "CM3" e "CM4").

In un foglio denominato "**Calcolo**" vengono create matrici che concatenano i tre caratteri del "Codice Posizione" per ogni navata, vengono ordinati e sottratti i codici che non sono previsti (quelli inseriti nella tabella "Tasselli da non considerare" del foglio "Controllo"). Nel calcolo, le matrici originariamente presentano una struttura da n colonne e m righe, in cui n è il numero massimo per la navata e m è l'indice corrispondente alla lettera massima della navata nell'alfabeto italiano. Per ottenere i risultati ordinati in una sola colonna viene ripetuta in colonna la formula "=INDICE (matrice da n colonne e m righe; riga "a"; colonna "b")", dove "a"=(nuovo indice/numero massimo)arrotondato per eccesso e "b"=nuovo indice-[numero massimo*(a-1)], e dove sia il nuovo indice (che si riferisce alla matrice con n*m righe e 1 colonna, ed è dunque una serie di numeri interi positivi che ha come numero massimo n*m), che "a" e "b" sono ripetuti in colonna. Ottenuta la matrice da 1 colonna, vengono sostituiti i valori dei tasselli da non considerare con "0" e successivamente vengono eliminati i valori "0" attraverso la formula "UNICI".

Ottenute le matrici da m*n righe e 1 colonna, nel foglio di lavoro denominato "**Navate separate**" ogni riga viene concatenata per ogni attività della "giornata tipo" fino ad ottenere tutti i codici necessari alla compilazione del campo "Codice Attività" per ogni navata del file

di MS Project.

Il metodo per ottenere questo risultato è stato quello di copiare in colonna più volte i codici WBS della giornata tipo (126 volte, nel caso del lavoro presentato, che corrisponde a lettera massima "Z" e numero massimo "6"), affiancare una colonna che presentasse a fianco di ogni voce il numero della ripetizione della "giornata tipo" e utilizzare la formula "INDICE" per concatenare il "Codice Posizione" ad ogni voce del codice WBS con l'indice della ripetizione. Sempre utilizzando la stessa funzione "INDICE", legando il numero di riga ad una serie di successioni di numeri cardinali che raggiungesse le dimensioni di ogni matrice composta dai "Codici Attività" di ogni navata, e legando al numero di colonna una serie di valori, corrispondenti all'indice delle navate per ordine, delle dimensioni della matrice dei "Codici Attività" per ogni navata, si ha ottenuto una matrice da una colonna che riportasse tutti i valori di tutte le navate per ordine.

Questa **matrice completa di tutti i valori** viene anche visualizzata sul foglio "**Codice Attività**" nella colonna A:A e assieme ad essa, in un'altra cella viene indicato il numero di valori da selezionare e collegare all'interno del file di MS Project (FIG 4.3.c).

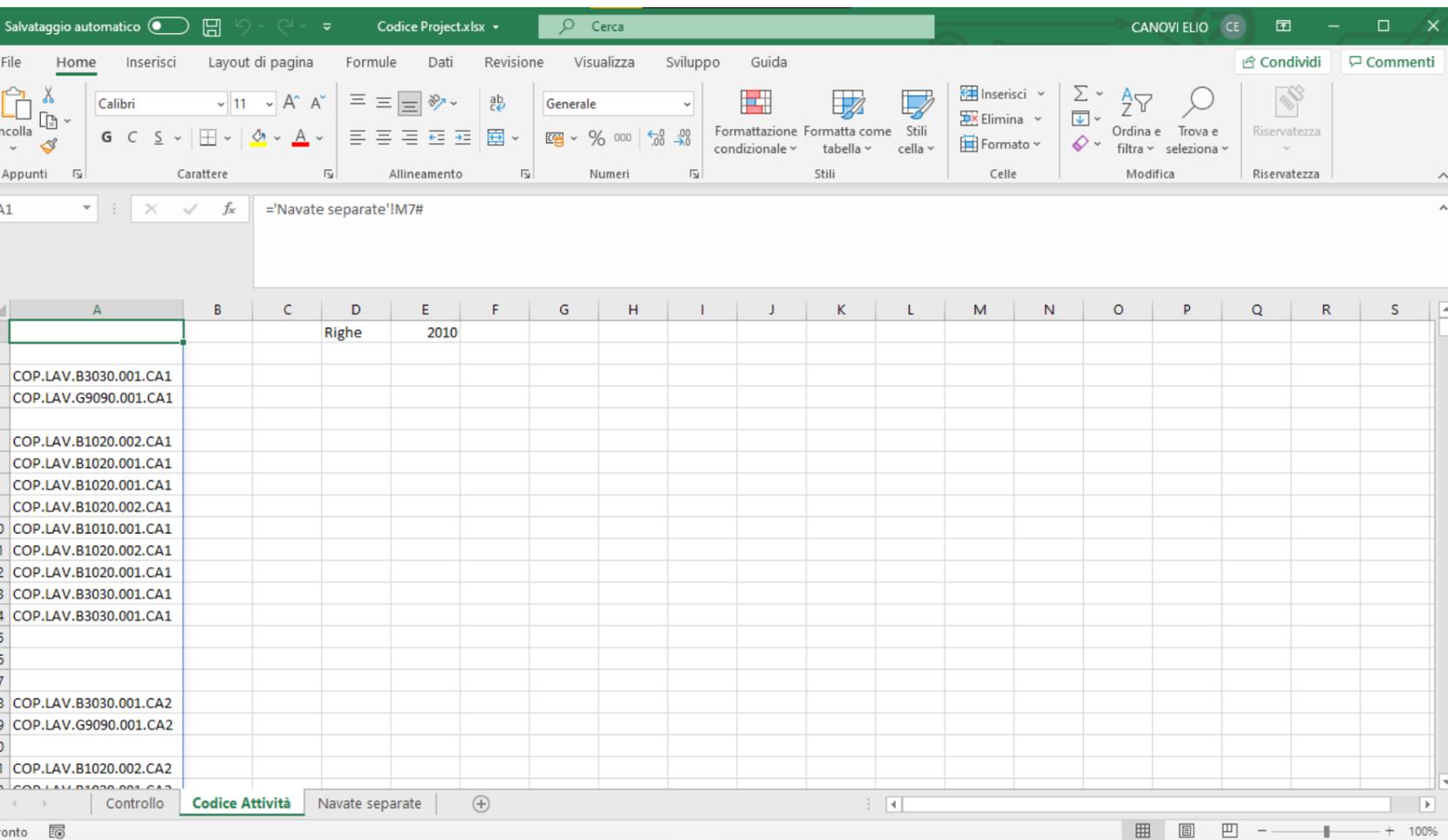


FIG. 4.3.c
Schermata di
visualizzazione
del foglio "Codice
Attività"



4.4

Cronoprogramma con MSProject

L'organizzazione delle attività, alla luce di quanto definito in merito alla scomposizione della copertura, vede la sua realizzazione su due piani differenti: la programmazione della giornata tipo e l'organizzazione della sequenza di queste giornate con le lavorazioni che ne esulano.

Per questo motivo la *Work Breakdown Structure* del Gantt, presenta al primo livello l'intervento, al secondo la distinzione tra le lavorazioni in copertura e le opere provvisorie (distinzione tra le imprese), al terzo una distinzione per aree di competenza e successivamente una maggiore discretizzazione topografica, all'interno della quale, per le opere in copertura si vede l'organizzazione della "giornata tipo" come quinto livello. La "giornata tipo" si riferisce all'insieme delle attività di un tassello

FIG. 4.4.a
Immagine evocativa di organizzazione del lavoro

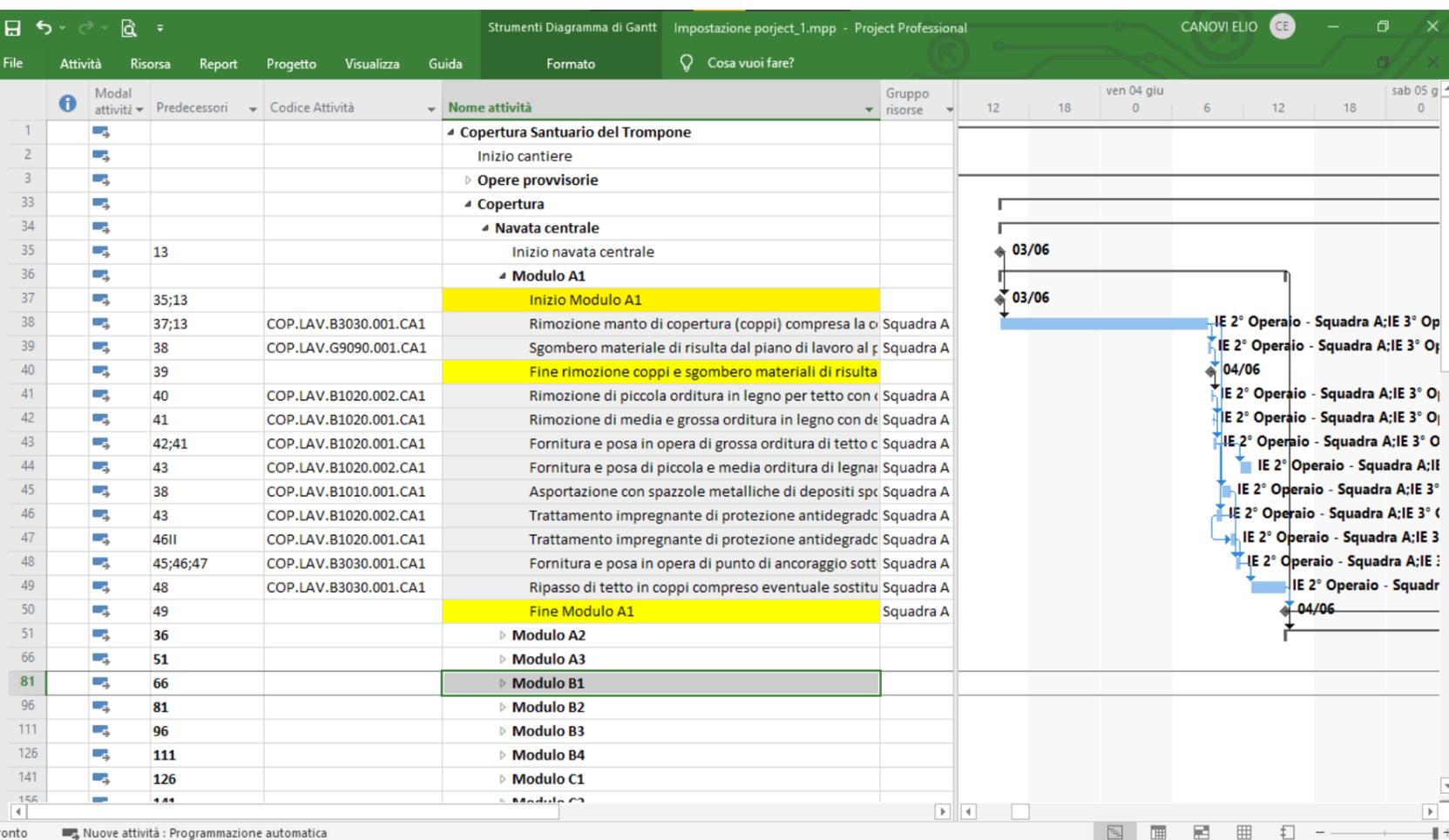


FIG. 4.4.b
Visualizzazione della
organizzazione delle
attività in un tassello

e alla loro organizzazione. Come le altre attività di riepilogo della copertura presenta una *milestone* all'inizio e una alla fine, attraverso l'inserimento di queste *milestones* è stato possibile garantire un maggiore controllo del progetto soprattutto per l'impostazione di predecessori e successori dei vari tasselli. Ad ogni lavorazione sono stati associati tre operai dell'impresa edile, ovvero una squadra, che può essere la squadra A o B, e la durata viene determinata dal loro livellamento in base all'*effort* richiesto. Da sottolineare come, essendo state ricavate le quantità dei tasselli dagli *effort*, è matematico che ogni tassello su MS Project abbia come durata un giorno. Inoltre, per lo sviluppo del modello 4D su Synchro, è stata aggiunta una colonna alla quale è stato associato ad ogni attività il Codice Attività generato su Excel, collegato come esposto al capitolo "3.6.2 - MS Excel - MS Project" (FIG 4.4.b).

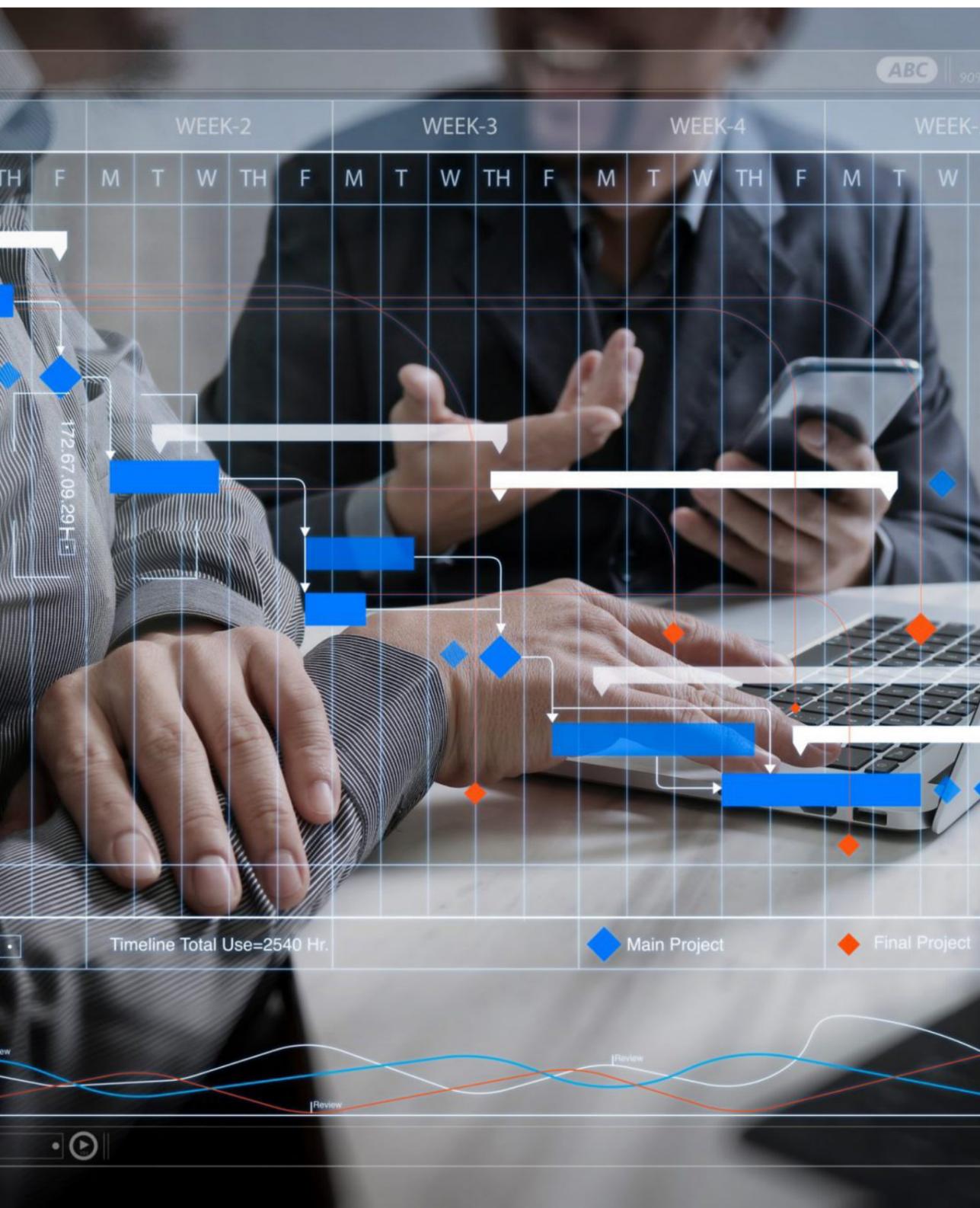
Per organizzare la sequenza delle giornate tipo e le opere provvisorie è stato necessario partire dal terzo livello della WBS, dall'organizzazione delle aree di competenza, in modo da controllare le differenti squadre delle diverse imprese e da poter affinare la localizzazione dei lavori in un secondo momento. In questo livello, dunque, si può notare l'impiego di attività di riepilogo, le *milestones* sono nel sottolivello e identificano fine ed inizio delle attività che le riepilogano.

I **ragionamenti principali** che hanno guidato il processo, sono stati: quello di iniziare i lavori dalla parte più alta della copertura per scendere gradualmente, in modo da ridurre eventuali danneggiamenti delle opere finite, e quello di ridurre al minimo l'occupazione del chiostro da parte dei ponteggi (lato sinistro), in modo da diminuire la possibilità di rischio di contatto nell'accesso comune del chiostro.

Attraverso i primi ragionamenti dunque è stato definito che le prime opere da realizzarsi sono quelle provvisorie, realizzate da una squadra di cinque operai, erette dal basso all'alto, ad eccezione dei ponteggi sulla navata sinistra, i quali dovranno essere montati poco prima che inizino le lavorazioni su quella navata e dovranno essere smontati subito dopo. Al montaggio delle opere provvisorie segue l'inizio delle lavorazioni in copertura alle quali sono associate due squadre da tre operai, partendo dalla rotonda e dalla navata centrale, seguendo con la navata sinistra, l'abside ed infine la navata destra. Dai tasselli, come lavorazioni in copertura, esulano le opere di lattoneria e la chiusura di aperture tramite reti (inserita in "Altre opere in copertura"), le quali vedono impegnati, per la prima cinque operai e per la seconda uno, e hanno come predecessore comune il termine il completamento dei tasselli. terminate tutte le lavorazioni in copertura si procede con lo smontaggio di tutto il cantiere.

Predecessori	Nome attività	Nomi risorse	Durata	Lavoro	Inizio	Fine	Gruppo risorse	giungi nuova colon
1	▲ Copertura Santuario del Trompone		679 h?	4.157,4 h	mar 25/05/2	mar 21/09/2		
2	Inizio cantiere		0 g	0 h	mar 25/05/2	mar 25/05/2		
3	▲ Opere provvisorie		679 h?	566 h	mar 25/05/2	mar 21/09/2		
4	▸ Baracche di cantiere		679 h?	80 h	mar 25/05/2	mar 21/09/2		
8	▸ Recinzioni		641 h?	10 h	ven 28/05/2	lun 20/09/21		
12	▸ Ponteggi lato destro		632,24 h?	220 h	ven 28/05/2	ven 17/09/2		
16	▸ Ponteggi lato sinistro		401,37 h?	112 h	lun 14/06/21	lun 23/08/21		
20	▸ Parapetti di protezione		577,4 h?	144 h	gio 03/06/21	lun 13/09/21		
33	▲ Copertura		588,24 h?	3.591,4 h	gio 03/06/21	mer 15/09/2		
34	▸ Navata centrale		328,14 h?	984,41 h	gio 03/06/21	ven 30/07/2		
652	▲ Rotonda		80,03 h?	240,1 h	gio 03/06/21	gio 17/06/21		
653	13 Inizio Rotonda		0 g	0 h	gio 03/06/21	gio 03/06/21		
654	▸ Modulo A1		8 h?	24,01 h	gio 03/06/21	ven 04/06/2		
669	654 ▸ Modulo A2		8 h?	24,01 h	ven 04/06/2	lun 07/06/21		
684	669 ▸ Modulo A3		8 h?	24,01 h	lun 07/06/21	mar 08/06/2		
699	684 ▸ Modulo A4		8 h?	24,01 h	mar 08/06/2	mer 09/06/2		
714	699 ▸ Modulo A5		8 h?	24,01 h	mer 09/06/2	gio 10/06/21		
729	714 ▸ Modulo B1		8 h?	24,01 h	gio 10/06/21	ven 11/06/2		
744	729 ▸ Modulo B2		8 h?	24,01 h	ven 11/06/2	lun 14/06/21		
759	744 ▸ Modulo B3		8 h?	24,01 h	lun 14/06/21	mar 15/06/2		
774	759 ▸ Modulo B4		8 h?	24,01 h	mar 15/06/2	mer 16/06/2		
789	774 ▸ Modulo B5		8 h?	24,01 h	mer 16/06/2	gio 17/06/21		
804	668;683;698;713; Fine Rotonda		0 g	0 h	gio 17/06/21	gio 17/06/21		
805	▸ Navata sinistra		360,15 h?	1.080,45 h	gio 17/06/21	gio 19/08/21		
1483	▸ Navata destra		216,09 h?	672,28 h	ven 30/07/2	mar 07/09/2		
1906	▸ Abside		128,05 h?	384,16 h	gio 19/08/21	ven 10/09/2		
2149	▸ Lattoneria		11,59 h?	210 h	ven 10/09/2	mar 14/09/2		
2155	▸ Altre opere in copertura		20 h?	20 h	ven 10/09/2	mer 15/09/2		
2157	2150;2156;651;80 Fine lavorazioni in copertura		0 g	0 h	mer 15/09/2	mer 15/09/2		

FIG. 4.4.c
 Visualizzazione
 dell'organizzazione dei
 tasselli nella rotonda



4.5

Sviluppo del modello 4D con Synchro Pro

Come già affrontato nel capitolo "1.2.2 - Applicativi BIM 4D", la scelta di utilizzare il software Synchro Pro è stata dettata dalla sua semplicità di utilizzo dalla funzionalità, elementi che hanno permesso di sviluppare un modello 4D efficiente ed ottimizzato per una corretta visualizzazione, analisi e gestione delle sequenze temporali della costruzione del caso studio. Ciò ha permesso dunque la progettazione e realizzazione di due **animazioni**: la prima riguardante l'intero processo di costruzione, dall'inizio alla fine del cantiere; la seconda, che è stata progettata nel dettaglio, è riferita ad una sola giornata tipo, in cui si vede la sequenza delle lavorazioni effettuate dalle due squadre e i relativi spostamenti, nell'ottica di una successiva individuazione delle interferenze, sulla base del rispetto del distanziamento sociale.

FIG. 4.5.a
Immagine evocativa 4D

4.5.1 Assegnazione delle risorse

Una volta importati i due file all'interno del software Synchro, prima di procedere con lo sviluppo del modello 4D è necessario abbinare tutte le voci del cronoprogramma con i corrispondenti elementi 3D poiché la gestione di questo legame è alla base di ogni operazione futura svolta all'interno del programma.

Di fatto, il software presenta una scheda denominata "Assign Resources" nella quale vi è un comando di "Auto Matching" (*Resources to task*) attraverso il quale è possibile appunto creare una **corrispondenza** tra i due file grazie alla gestione dell'assegnazione automatica degli elementi tridimensionali (*Resources*) alle corrispondenti attività (*tasks*) del Gantt.

Per ottenere il risultato sopra descritto è fondamentale definire prima una **regola**, che in questo caso è stata denominata "Resources/Task" (FIG 4.5.1.a), nella quale è stato selezionato il tipo di relazione che caratterizzerà l'accoppiamento degli elementi: "one-to-one" (nel caso in cui esista solo un codice che colleghi un oggetto 3D ad una sola attività) oppure "many-to-many" (nel caso in cui più oggetti 3D abbiano il medesimo codice da associare ad un'unica attività).

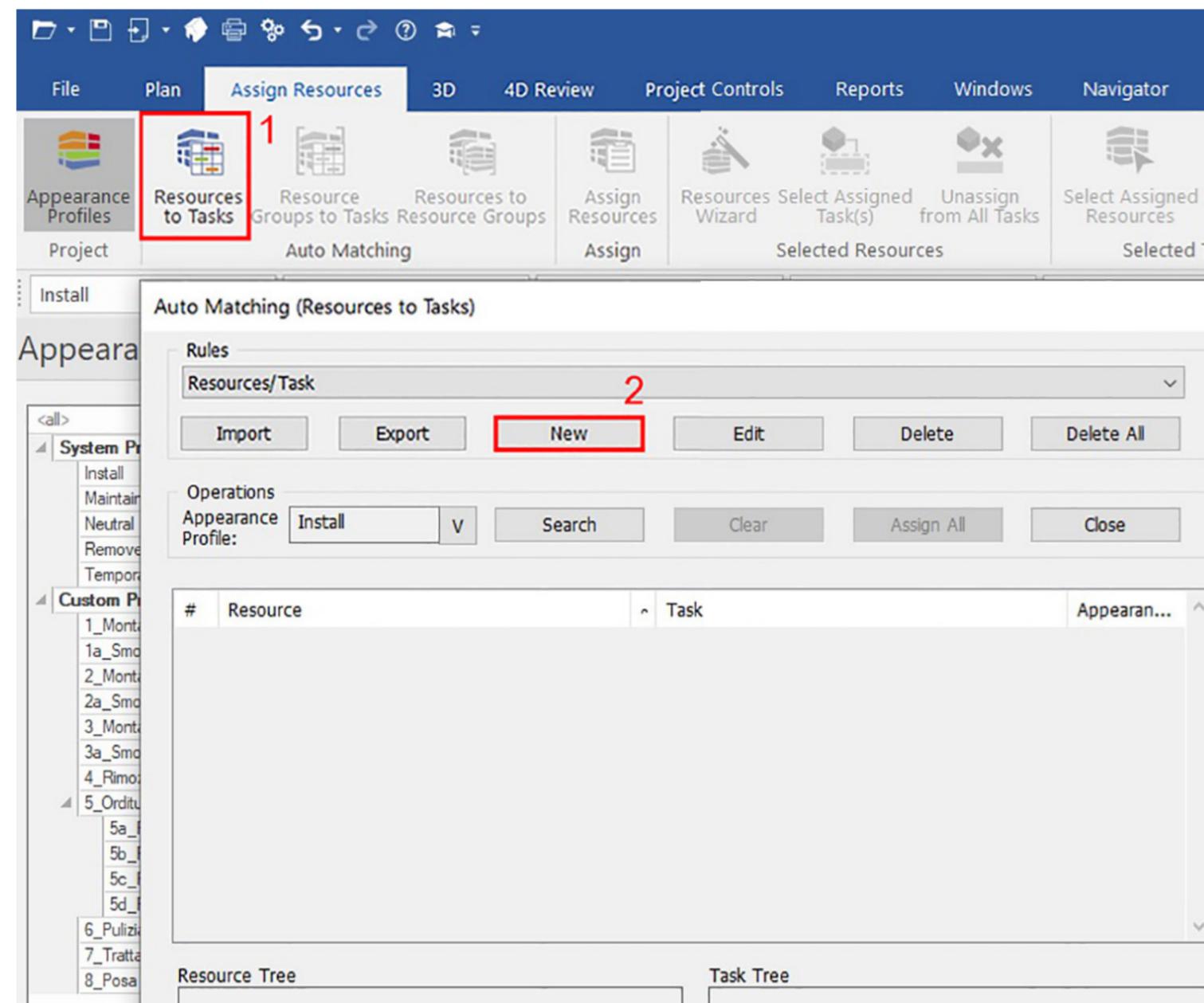


FIG. 4.5.1.a
Creazione di una nuova regola di Auto Matching in Synchro PRO

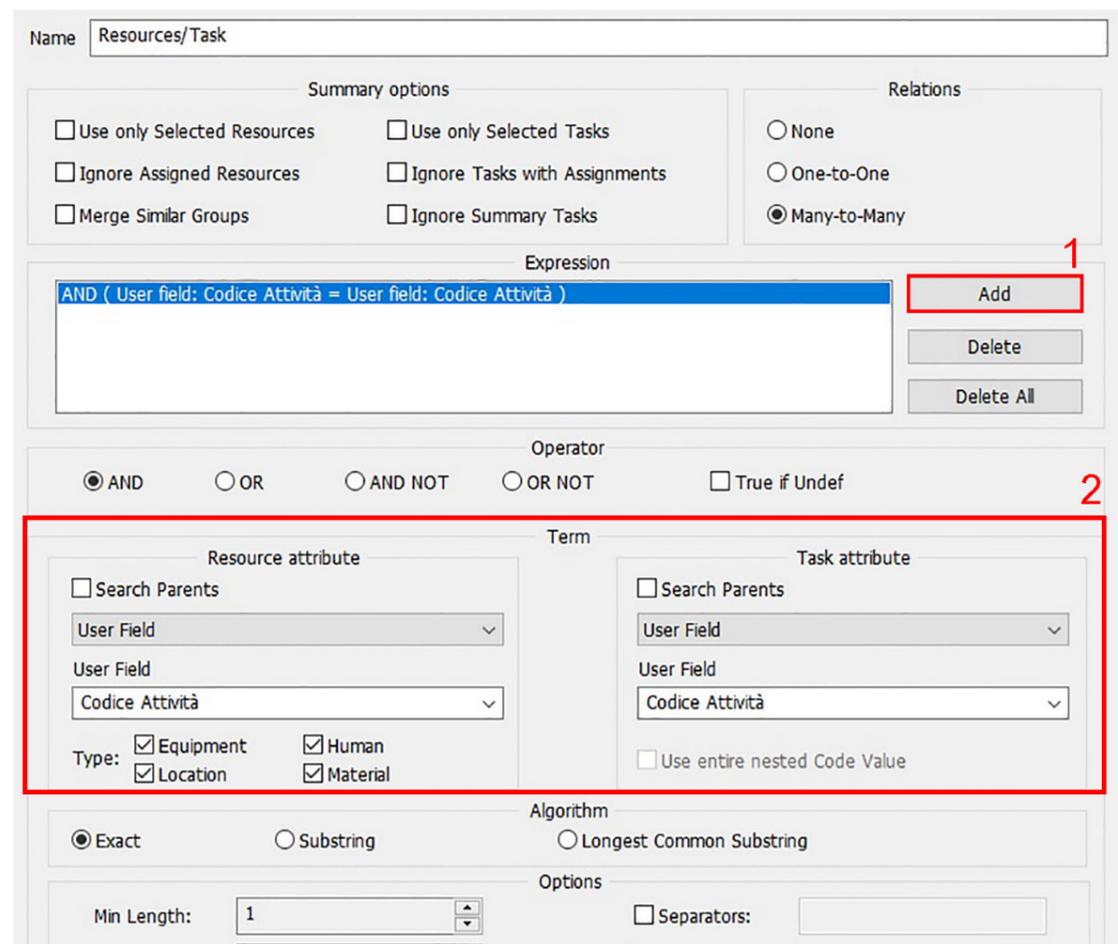


FIG. 4.5.1.b
Impostazione della regola
di Auto Matching in
Synchro PRO

Successivamente, prima di effettuare l'accoppiamento (*match*) si è proceduto con l'impostazione **dell'attributo**, sia per quanto riguarda gli oggetti 3D (*Resource attribute*) che per le attività (*Task attribute*); l'impostazione prevede la scelta, tra gli *user fields*, di effettuare l'accoppiamento sulla base dei codici attività creati precedentemente. L'immagine (FIG 4.5.1.b) illustra il procedimento sopra descritto utilizzato per la definizione della regola di accoppiamento.

Completato questo passaggio, con l'apposito comando "Search" è stato possibile avviare l'esecuzione della regola impostata che verrà applicata al progetto. Al termine del calcolo, come di seguito visualizzato, Synchro elenca tutte le risorse, cioè gli oggetti 3D, e le attività; tramite la funzione "Assign All" queste poi sono state accoppiate automaticamente in base ai codici attività attribuiti. Questa operazione (FIG 4.5.1.c) permetterà in seguito, durante

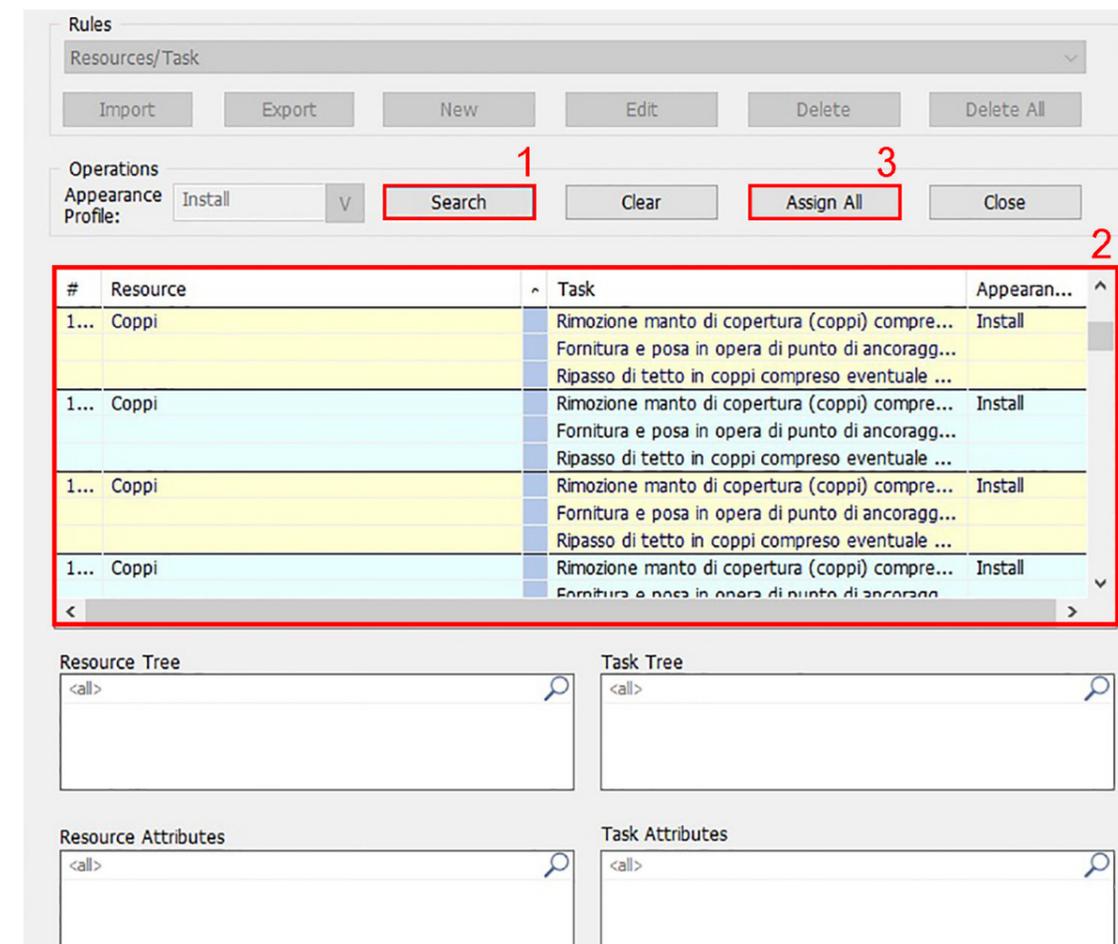


FIG. 4.5.1.c
Calcolo dell'Auto
Matching e
assegnazione finale

la simulazione 4D, di gestire la modalità di visualizzazione degli oggetti in base ad ogni attività.

Durante le fasi di controllo dello stato di avanzamento del progetto 4D, qualora ci si è accorti della presenza di errori o perdita di informazioni relative al file importato di Microsoft Project si è ripetuto l'operazione di importazione più volte, previa modifica del

file nativo. Questo risulta possibile grazie alle potenzialità del software, il quale permette di aggiornare il file ogni qual volta si decida di cambiare l'ordine o la durata di un'attività, evitando così di ricomporre tutto il lavoro ad ogni aggiornamento.

4.5.2 Creazione degli “Appearance Profiles”

Il passaggio successivo ha previsto l'assegnazione, per ogni attività, di un **“Appearance Profile”**, il quale definisce la modalità in cui l'elemento 3D sarà visualizzato all'interno della scena; la determinazione di questi profili è inoltre indispensabile soprattutto per la creazione e visualizzazione della vera e propria simulazione 4D.

Vi sono più tipi di *Appearance Profile* già esistenti e impostati all'interno del software: **Install, Remove, Maintain, Temporary, Neutral**. Dato che, in seguito all'*automatching*, il programma di default assegna ad ogni elemento il profilo di tipo *“Install”*, il quale prevede la visualizzazione dell'oggetto come un'installazione (in verde); è possibile ovviamente modificarne l'assegnazione tramite la scheda *“Task Properties”* scegliendo tra quelli esistenti sopra citati o creandone di nuovi, come illustrato nella seguente immagine (FIG 4.5.2.a), in modo da agevolare la personalizzazione delle proprietà interne.

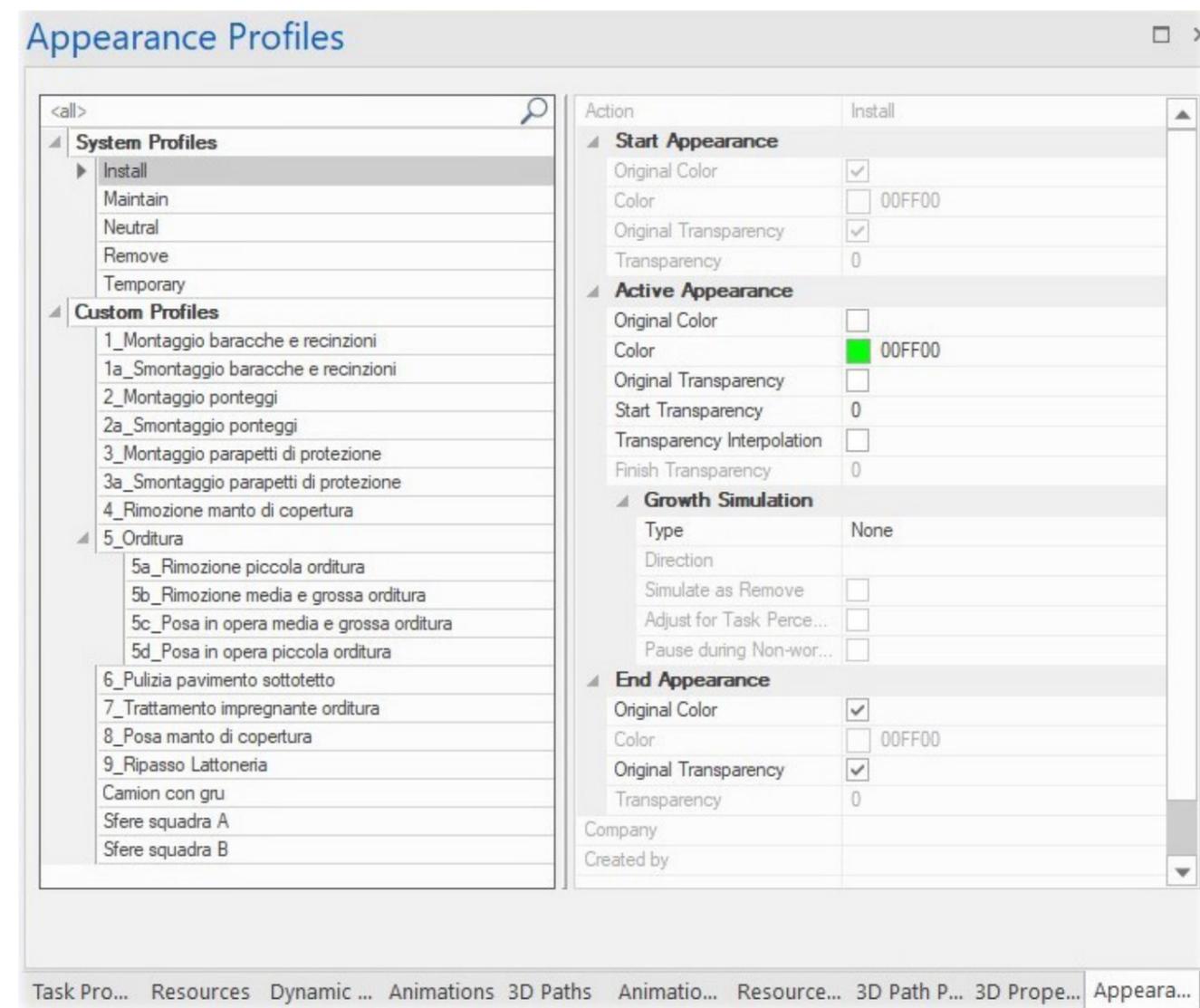


FIG. 4.5.2.a
Creazione degli
Appearance Profiles
personalizzati

4.5.3 Utilizzo della Focused Time

Una volta creati ed impostati tutti gli *Appearance Profiles*, attraverso la scheda 4D *Preview* il software ha permesso di controllare visivamente quanto fatto grazie all'avvio di una prima simulazione in tempo reale, non ancora settata ma facilmente gestibile anche manualmente muovendo direttamente la barra rossa del **"Focused Time"** lungo le barre del cronoprogramma (FIG 4.5.3.a).

Questa funzione garantisce appunto di testare visivamente la sequenza delle attività controllandone la correttezza, con la possibilità, eventualmente, di focalizzarsi contemporaneamente in modo più scrupoloso su più zone a rischio o quelle che richiedono un controllo ravvicinato.

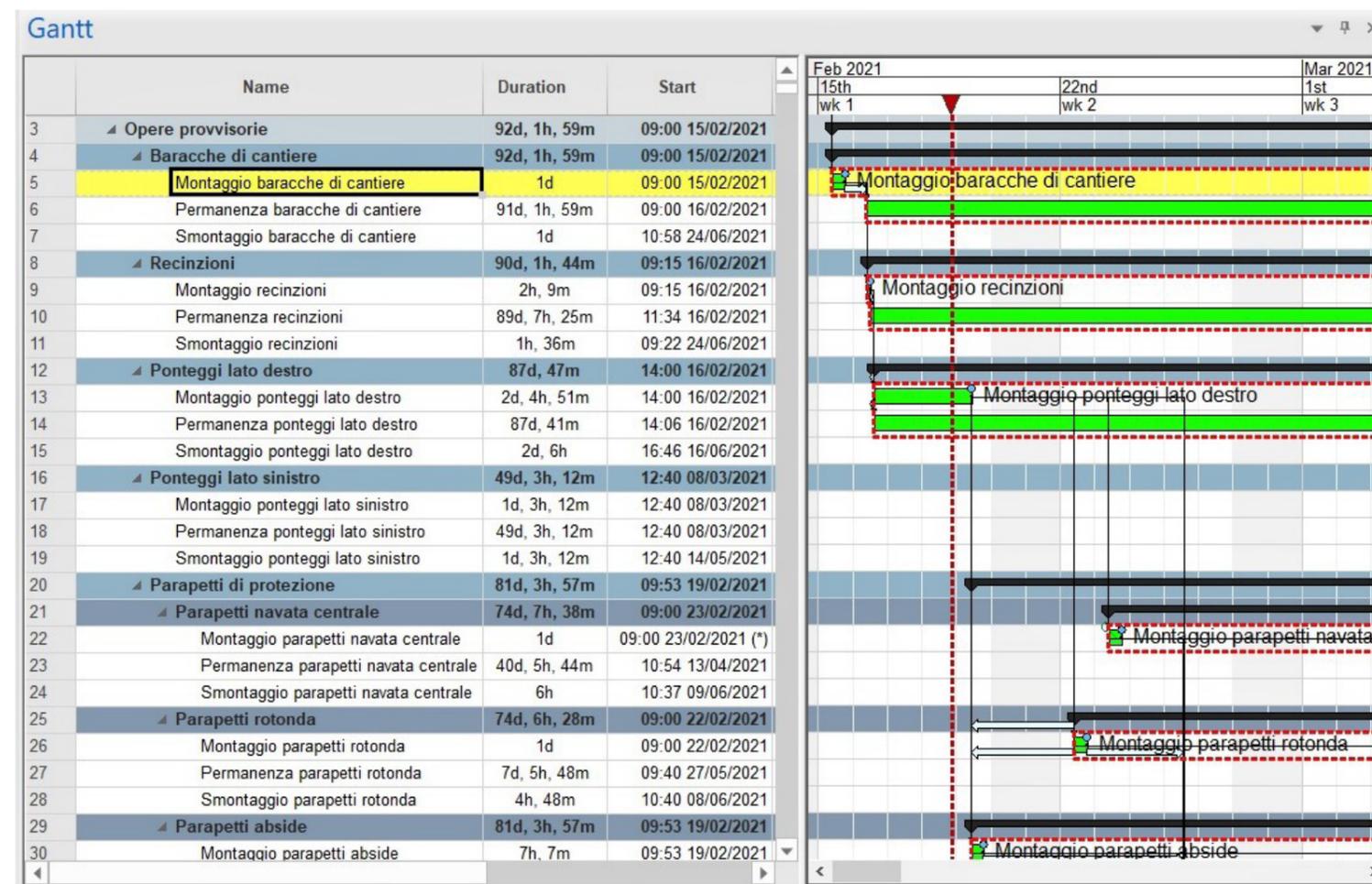


FIG. 4.5.3.a
Controllo
manuale della
barra rossa del
"Focused Time"

4.5.4 Simulazione 4D di tutto il cantiere

l'utilizzo della scheda *Animations Editor*, uno spazio a sfondo bianco caratterizzato dalla presenza di due fattori, come vedremo in seguito, che dovranno essere impostati parallelamente. Inoltre, lo *zoom* di questo spazio di editor deve essere regolato in modo che l'intera lunghezza di ciò che sarà la nostra animazione risulti adeguatamente visibile.

A questo punto tutto il lavoro si basa sulla creazione e gestione dei fotogrammi chiave, i quali definiscono:

- Punto di vista 3D (angolo della fotocamera, posizione e zoom);
- Tempo di messa a fuoco (contenuto della pianificazione).

La finestra dell'*Animations Editor*, infatti, è rappresentata sotto forma di una linea del tempo scalabile raffigurante segmenti di tempo riferiti ai punti di vista della fotocamera e al tempo di messa a fuoco. Per creare tali fotogrammi è stato sufficiente cliccare nell'apposito spazio bianco in modo da creare sia dei *"camera view points"* che dei *"focused time points"*.

Nell'immagine accanto (FIG 4.5.4.a) è possibile visualizzare, all'interno dell'*Animation Editor* posizionato a sinistra, tutti i fotogrammi impostati.

Come anticipato all'inizio del capitolo, il software Synchro di fatto permette di creare brevi animazioni e video di cantiere con facilità e praticità, con lo scopo di enfatizzare e visualizzare il processo di costruzione dell'opera.

Recandosi innanzitutto nella scheda *Animations* di Synchro la prima operazione è stata quella di creare da zero la prima nuova animazione di tutto il cantiere, subito rinominata **"Simulazione Completa"**.

Prima di iniziare però la progettazione 4D è buona abitudine aprire il Gantt o espanderlo, qualora fosse poco visibile e leggibile, in modo appunto da poterlo visualizzare per intero; un'altra cosa importante da fare prima riguarda la barra rossa del *Focused time* che deve essere in una posizione antecedente all'avvio del cantiere. Dopo di che, la procedura prevede

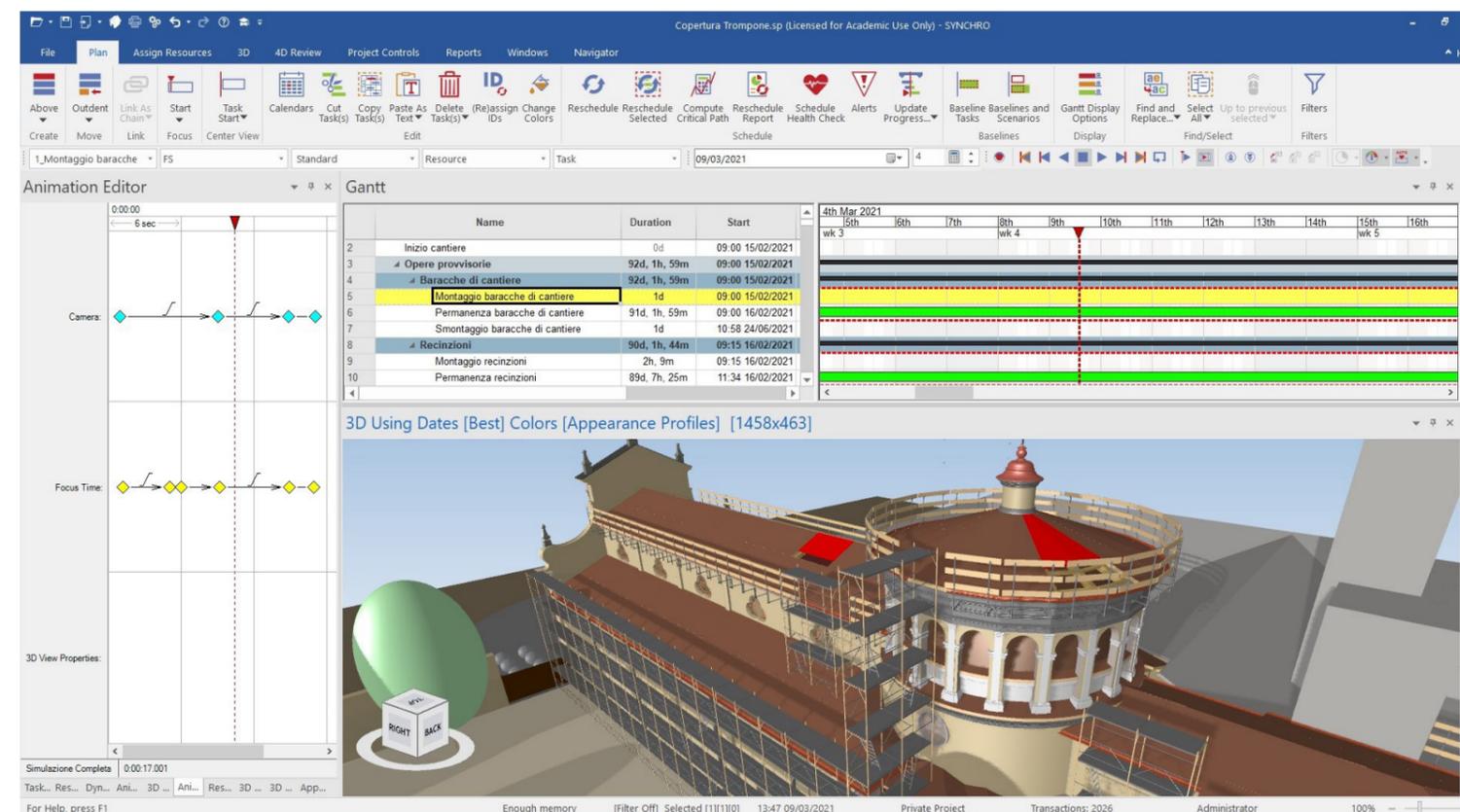


FIG. 4.5.4.a
Impostazione dell'*Animations Editor* in Synchro inerente alla simulazione 4D completa di tutto il cantiere

Una volta creata ed impostata l'animazione, è stato possibile esportarne il contenuto in formato .AVI, previa un'attenta preparazione dell'output finale. In merito a ciò, nella corrispondente finestra "Export Animation" si è proceduto innanzitutto con la definizione di alcuni parametri circa la risoluzione, la frequenza, la durata e il codec; dopo di che è stato impostato il *layout* di animazione, selezionando le apposite caselle in modo da includere contenuto o finestre aggiuntive all'interno dell'animazione, come anche le varie opzioni circa il motore di *rendering* e l'*anti-alias* (FIG 4.5.4.b).

- **Risoluzione:** 1920x1080
- **Frequenza fotogrammi:** 30
- **Durata:** in genere impostata su durata intera; in questo caso 17 secondi.
- **Codec di compressione:** impostato su "Microsoft Video 1", fornito con il programma di installazione per Synchro Pro 2018 e versioni successive.
- **File per l'esportazione:** si è scelta la *directory* in cui si desiderava salvare l'animazione.

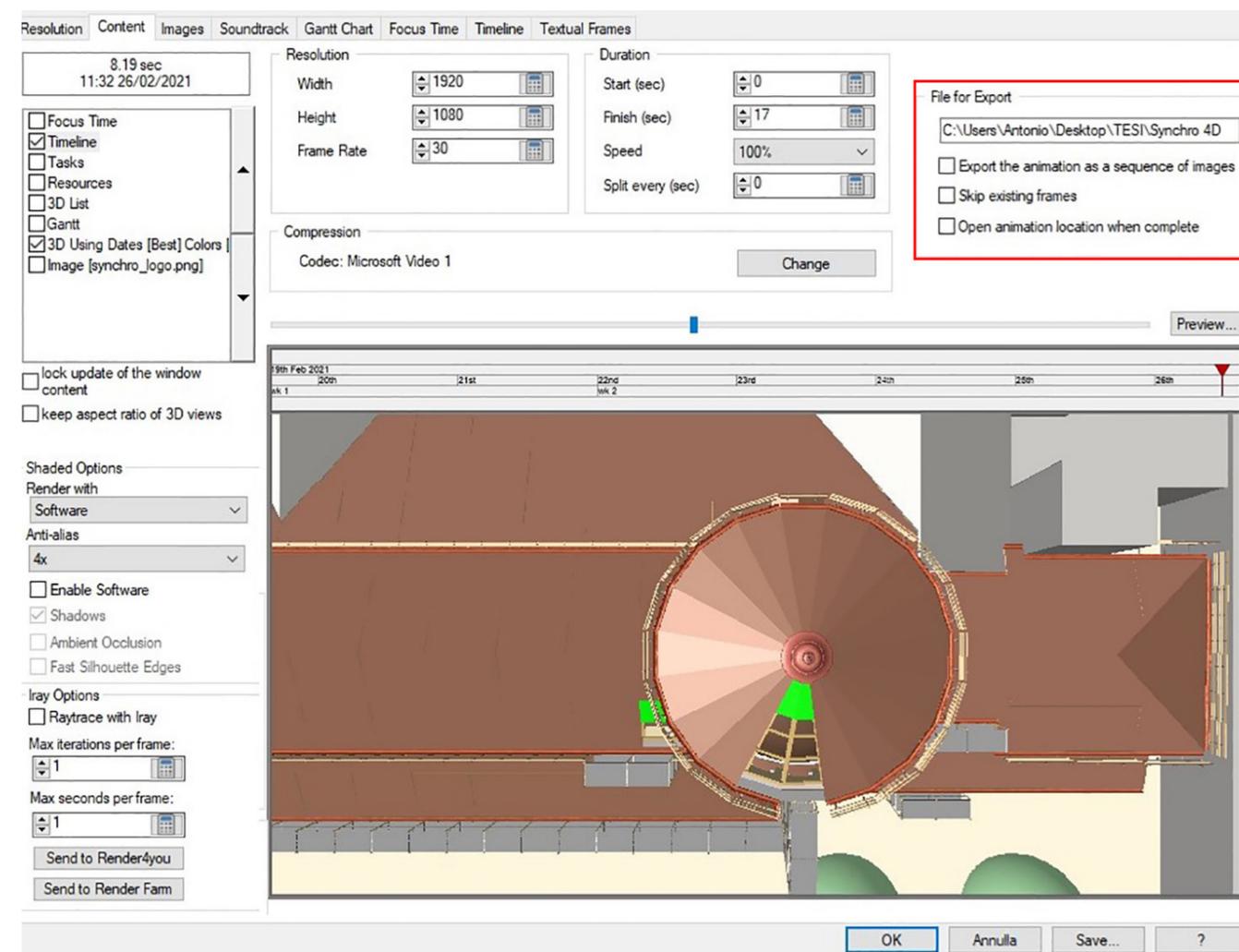


FIG. 4.5.4.b
Impostazione dei parametri di esportazione in Synchro

4.5.5 3D Path

FIG. 4.5.5.a

FIG. 4.5.5.b

Nella pagina accanto.
Creazione dei 3D PATH
caratterizzati da molteplici
punti di snodo aventi proprie
coordinate modificabili

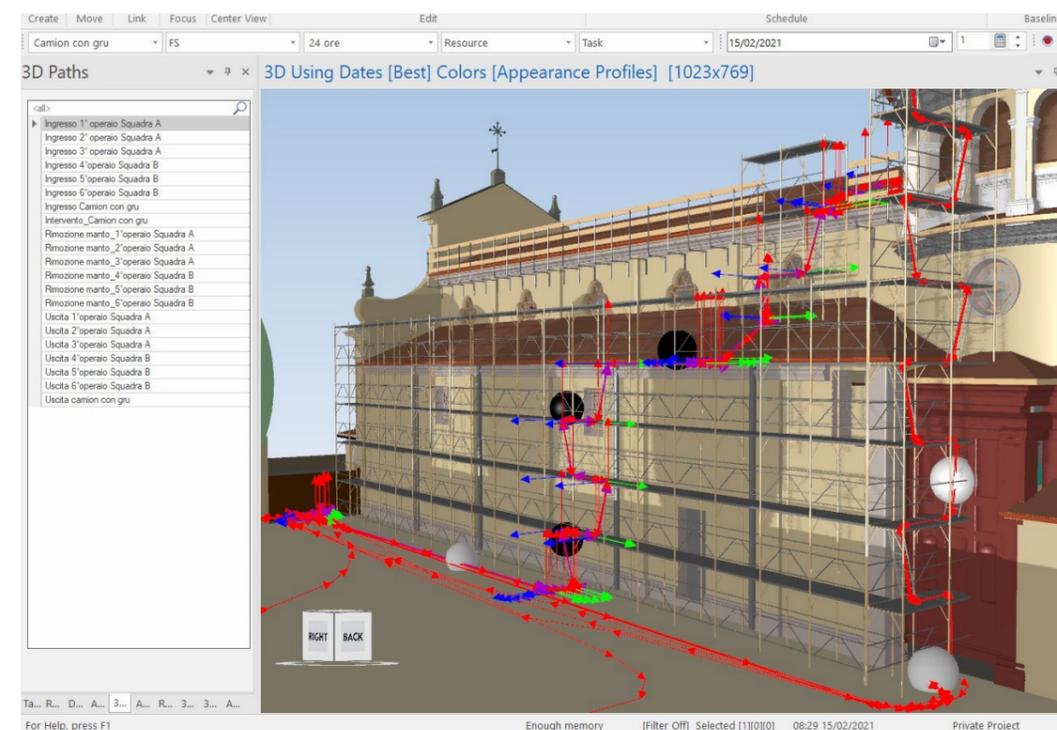
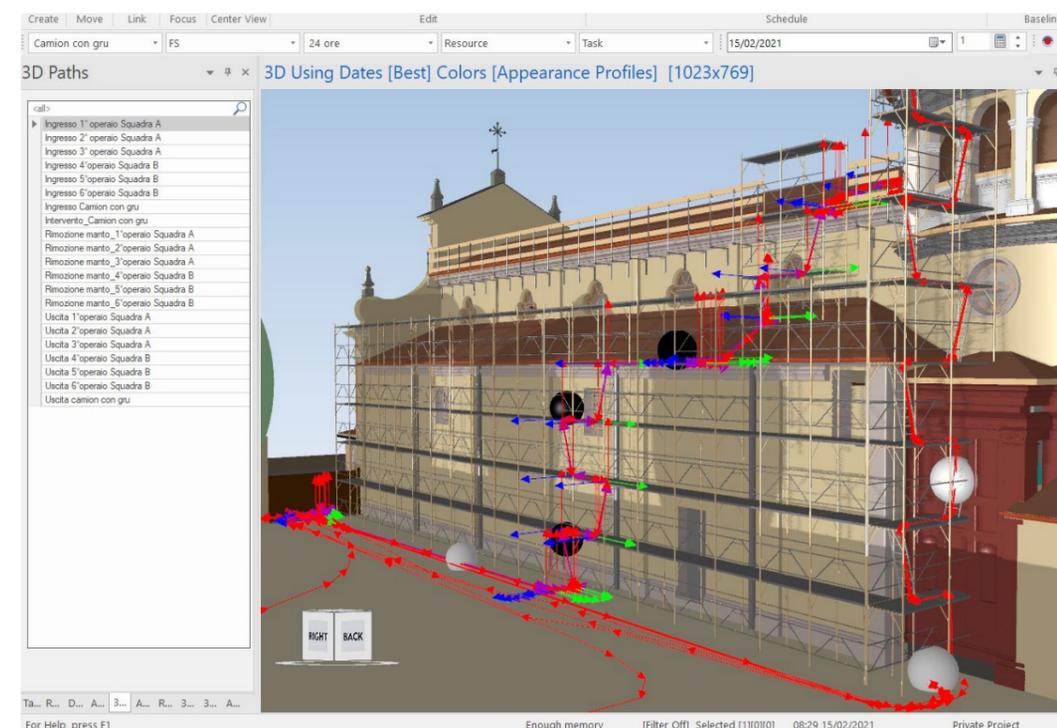
I tracciati 3D sono stati realizzati manualmente all'interno della scena: per far ciò, è bastato selezionare l'oggetto 3D, cliccare con il tasto destro del mouse e dal menù di scelta rapida, nella sezione "create" e stato selezionato "3D path". Si è proceduto così con il disegno dell'intero percorso che avrebbe dovuto fare quel determinato oggetto all'interno della scena. Tale procedura è stata attentamente ripetuta tante volte quante sono le risorse che avrebbero dovuto assumere degli spostamenti durante la simulazione del cantiere.

Nella pagina seguente alcune viste (FIG 4.5.5.a e FIG 4.5.5.b) raffiguranti i percorsi impostati con annesso l'elenco di tutti i 3D Paths creati.

Sulla base dell'attenzione al distanziamento sociale imposto dalle restrizioni COVID-19, l'uso dei percorsi 3D ha favorito dunque la creazione di animazioni più sofisticate che, come vedremo nel prossimo capitolo "Dynamic Clash Detection", rifletterebero meglio ciò che sta accadendo in loco durante gli spostamenti e la costruzione.

Prima importazione all'interno della scena del **mezzo di cantiere** (camion con gru), disponibile all'interno della libreria dedicata di Synchro Pro, e delle **sfere** (personale operaio) precedentemente modellate in Revit; la restante parte del lavoro, riguardo lo sviluppo del modello 4D, si è incentrata sulla definizione dei "3D paths", ovvero i percorsi di cantiere che avrebbero dovuto seguire entrambe le risorse.

Dato che una dettagliata progettazione verosimile della realtà di tutta la durata del cantiere, che illustri i percorsi e i movimenti dei mezzi e delle risorse umane avrebbe richiesto una mole di lavoro in tempi molto lunghi, si è deciso di procedere, come già anticipato all'inizio del capitolo, con l'obiettivo di creare una seconda simulazione 4D, cioè inerente a solo una giornata tipo.



4.5.6 Dynamic Clash Detection

Terminata la definizione dei percorsi di cantiere, un altro tipo di analisi di progetto effettuata interessa le cosiddette **“Dynamic Clash Detection”**.

La tecnologia avanzata di Synchro infatti consente la rilevazione e gestione delle interferenze dinamiche tra gli oggetti presenti nel modello attraverso una efficace identificazione e analisi degli elementi selezionati, nell’ottica di andare a creare dei *reports* secondo delle procedure automatizzate. Tale strumento è stato utilizzato per questo progetto con l’obiettivo di indagare su questioni legate al distanziamento imposto dalle restrizioni **COVID-19**.

Si è dunque cercato di individuare il rischio di mal progettazione delle tempistiche di cantiere che è appunto la causa di eventuali

interferenze tra le sfere. A tal proposito, si è analizzato lo spostamento delle stesse lungo i percorsi precedente impostati (vedere capitolo “4.5.5 - 3D Path”): ad esempio, nella fase di accesso al cantiere delle due squadre, durante la salita dei ponteggi o nel corso delle lavorazioni sul tetto, ma anche a ridosso dell’area di stoccaggio dei materiali.

La prima operazione è stata quella di creare dei nuovi test all’interno della sezione dedicata **“Dynamic Clash Detection”**; rinominandoli in modo differente così da poter distinguere le due squadre.

La presente scheda presenta inoltre delle stringhe contenenti determinati parametri che verranno in seguito impostati, come vedremo, in base a specifiche valutazioni da fare (FIG 4.5.6.a).

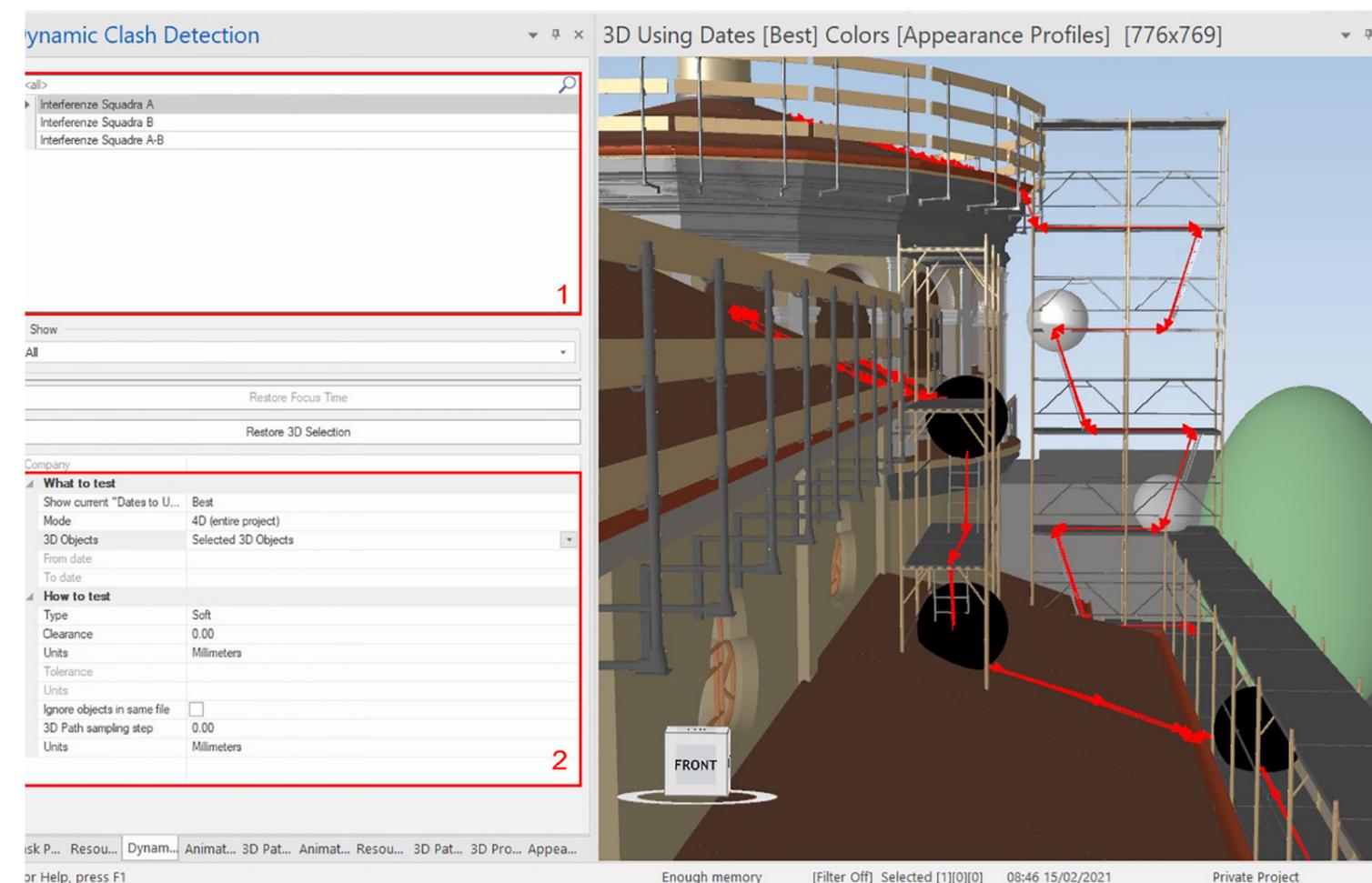


FIG. 4.5.6.a
Creazione dei nuovi
test di Dynamic Clash
Detection in Synchro

A questo punto sono state effettuate 2 tipi di analisi:

- a tolleranza nulla;
- con margine di distanza impostato ad 1 metro (distanza minima consentita).

La prima analisi si basa dunque sul rilevamento delle interferenze tra le sfere "a tolleranza nulla", ovvero l'individuazione di eventuali duplicazioni o totali sovrapposizioni delle stesse.

Il rilevamento di tale errore, al di là delle restrizioni imposte dal COVID-19, determinerebbe comunque una inadeguatezza di progettazione perché corrisponderebbe ad un cantiere irrealistico (è fisicamente impossibile la sovrapposizione di due persone); inoltre, l'errore causerebbe anche un aumento delle quantità conteggiate all'interno del computo.

La seconda analisi ha previsto la scelta di effettuare il test definendo come parametro di indagine un margine minimo di distanza tra le sfere, impostato ad **1 metro**. Questo controllo è stato applicato per esaminare il rispetto del distanziamento sociale durante tutte le fasi di lavorazione: accesso al cantiere, salita dei ponteggi, lavorazioni sul tetto, utilizzo area di stoccaggio dei materiali.

Si riporta di seguito una rielaborazione dei report esportati inerenti ai due tipi di analisi,

in cui sono messi a confronto gli **esiti negativi** (NO interferenze) con quelli **positivi** (SI interferenze) (FIG 4.5.6.b).

Come si evince dall'immagine accanto, la verifica durante la prima analisi ha avuto esito negativo (colonna a sinistra), in quanto il risultato del test ha chiaramente notificato l'assenza di possibili duplicazioni o sovrapposizioni delle sfere all'interno del progetto. Qualora fossero state invece notificate tali interferenze (colonna a destra), queste sarebbero state evidenziate all'interno del modello tramite una colorazione differente dei due oggetti sottoposti a verifica (rosso e verde); ciò avrebbe permesso una più semplice e intuitiva correzione del problema.

In merito alla seconda analisi, anche qui la verifica ha avuto esito negativo, in quanto nessun oggetto è stato evidenziato nella scena durante alcuna fase di scontro; per cui è stato mantenuto il rispetto della distanza minima imposta. Anche in questo caso, qualora fossero state individuate tali interferenze, queste sarebbero state messe in luce dal software all'interno della scena.

All'interno dei presenti **reports**, inoltre, oltre al rapporto delle incongruità rilevate, vengono indicate anche le distanze relative agli elementi sottoposti a verifica.

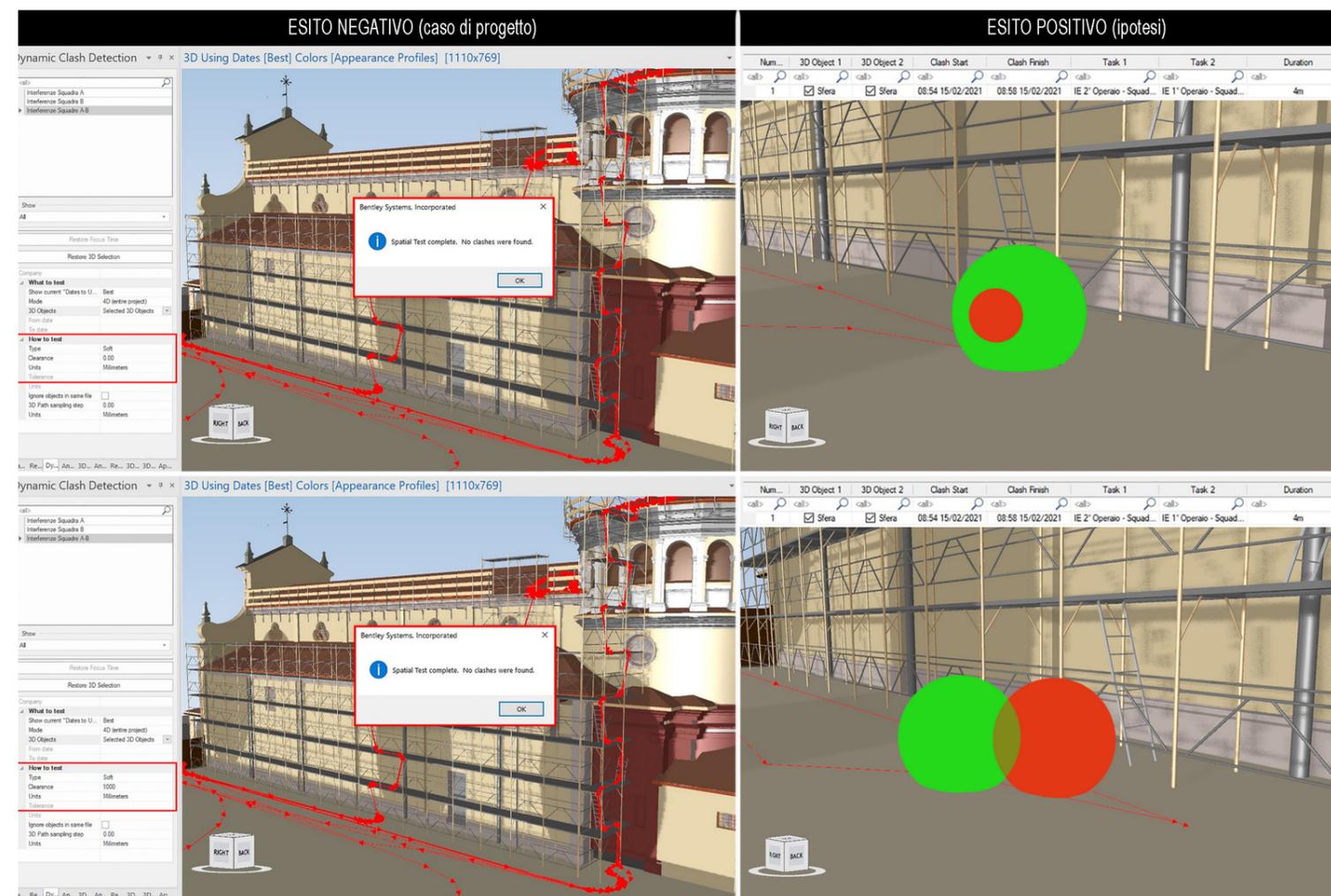


FIG. 4.5.6.b
Confronto degli esiti dei due tipi di analisi: a sinistra gli esiti NEGATIVI, a destra quelli POSITIVI raffiguranti le ipotetiche interferenze dettate da una eventuale mal progettazione dei percorsi

4.5.7 Simulazione 4D

“avanzata” di una giornata tipo

L'animazione 4D “avanzata” aiuta a descrivere meglio ciò che sta accadendo in loco durante la fase temporale stabilita. L'aggiunta di ulteriori elementi al modello principale, quali il camion con gru, le sfere e i percorsi 3D, ha favorito un aumento del valore della modellazione; difatti, tale aggiunta ha permesso di includere nella simulazione gli spostamenti dei mezzi di cantiere temporanei e delle sfere, l'utilizzo degli spazi di lavoro dalle medesime risorse, i problemi di rischio e sicurezza e, come abbiamo visto, le possibili interferenze dinamiche.

Dalla seguente immagine estrapolata direttamente da Synchro (FIG 4.5.7.a), si deduce come la procedura di creazione ed impostazione di questa seconda simulazione sia stata esattamente uguale alla prima.

Per cui, una volta creati i fotogrammi chiave che singolarmente definiscono il punto di vista 3D e il tempo di messa a fuoco, si è proceduto con l'impostazione del *layout* di esportazione: anche in questo caso, previa definizione dei principali parametri di settaggio è stato possibile esportarne il contenuto in formato .AVI.

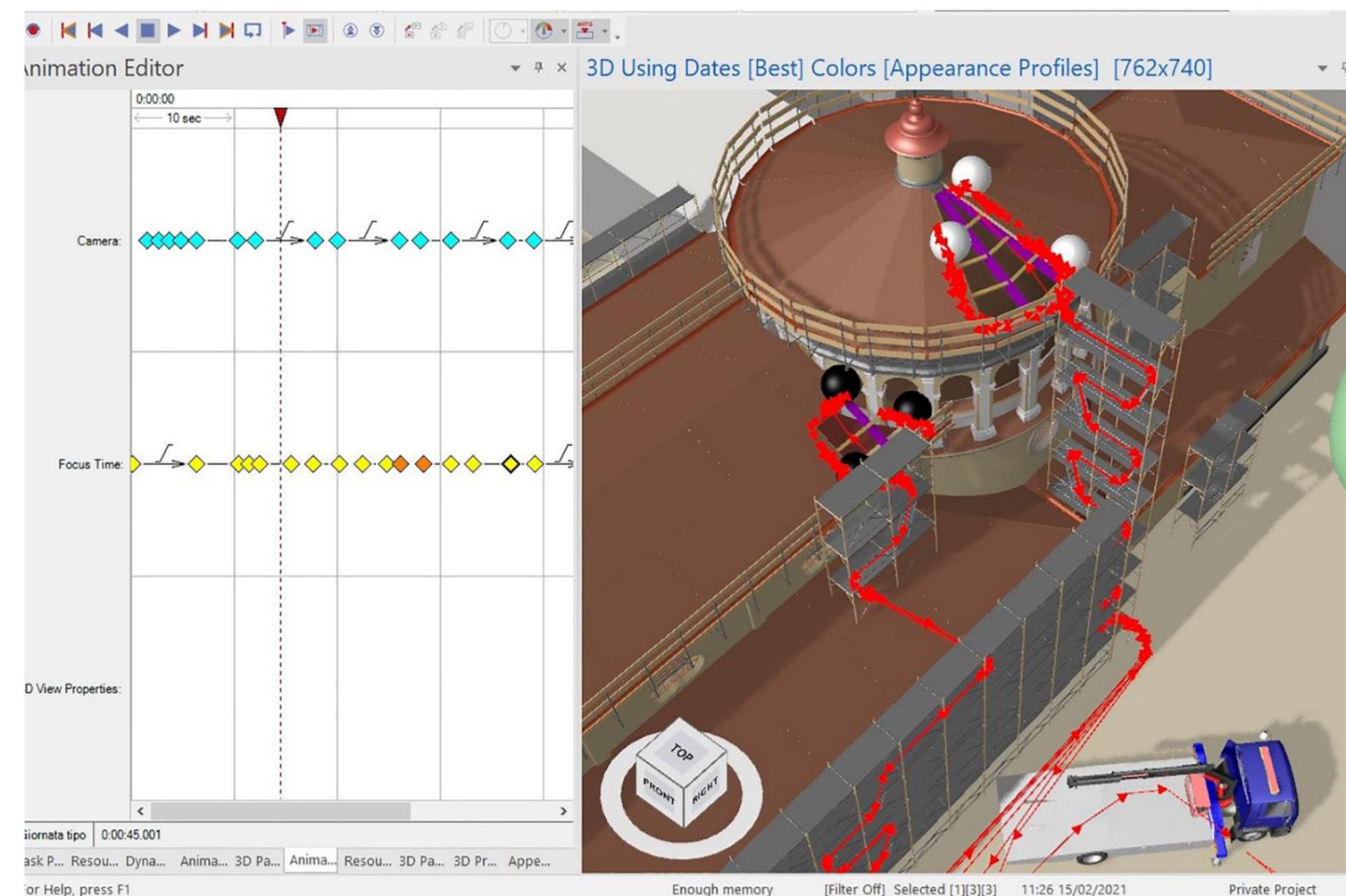


FIG. 4.5.7.a
Impostazione dell'Animations Editor in Synchro inerente alla simulazione 4D “avanzata” di una giornata tipo



4.6

FIG. 4.6.a
Immagine
evocativa analisi
economiche
legate alle
costruzioni

Quantity takeoff con PriMus IFC

Come descritto nel precedente capitolo "3.6.5 - PriMus IFC - Revit", all'interno del programma di casa Acca è stato importato un file .ifc composto dalle **classi contenenti le entità da misurare e computare**: *IfcBeam*, *IfcRoof*, *IfcSlab*, *IfcCovering*, *IfcFlowSegment*, *IfcBuildingElementProxy*; e dalle **classi che fanno riferimento al progetto e alle informazioni collegate**, quali: *IfcProject*, *IfcSite*, *IfcBuilding*, *IfcBuildingStorey*, *IfcPresentationLayerAssignment*, *IfcTypeObject*, *IfcElementAssembly*, *IfcSystem* e *IfcDistributionPort*. Da Revit per generare il file sono stati esportati i gruppi di proprietà del programma, quelli IFC comuni e l'abaco dei tetti come gruppo di proprietà.

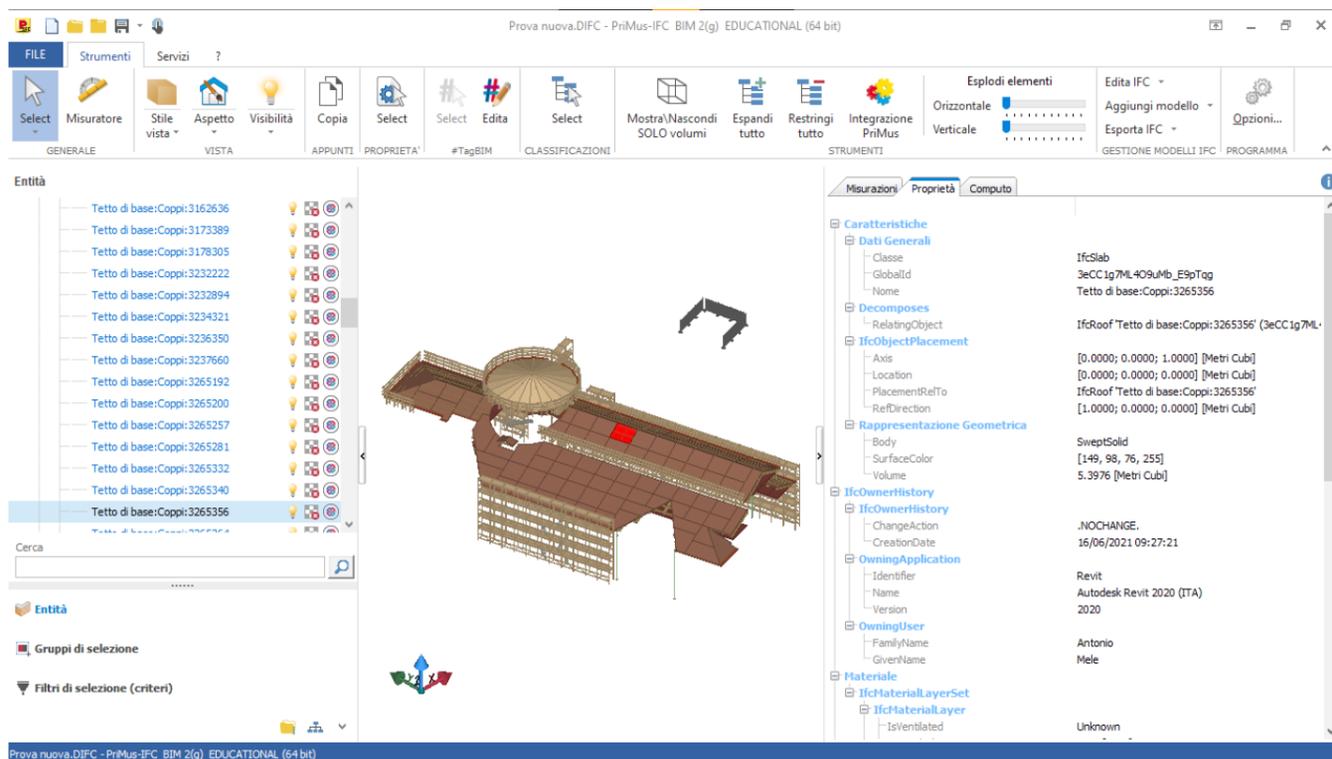


FIG. 4.6.b
Visualizzazione delle proprietà di un elemento tetto

Essendo già state individuate le voci del prezzario da computare, aperto il **Prezzario della Regione Piemonte 2020** fornito con l'installazione del programma, è bastato cercarle attraverso la barra di ricerca (FIG 4.6.c) e trascinarle nella sezione relativa alle misurazioni per poter associare le entità dell'IFC alle quali la lavorazione fa riferimento. Le misurazioni devono essere associate ad elementi e la selezione degli elementi può essere effettuata in tre differenti maniere: "Manuale", "Automatica da entità simili" ed

"Automatica personalizzata". Per permettere modifiche sul file IFC e fare in modo che contestualmente all'aggiornamento del modello si aggiornino anche le quantità, le entità sono state selezionate in maniera Automatica personalizzata.

Questa modalità differisce da quella "Automatica da entità simili" per la definizione di **regole di selezione**, in quanto permette di impostare in che modo e quali proprietà analizzare per il riconoscimento degli elementi.

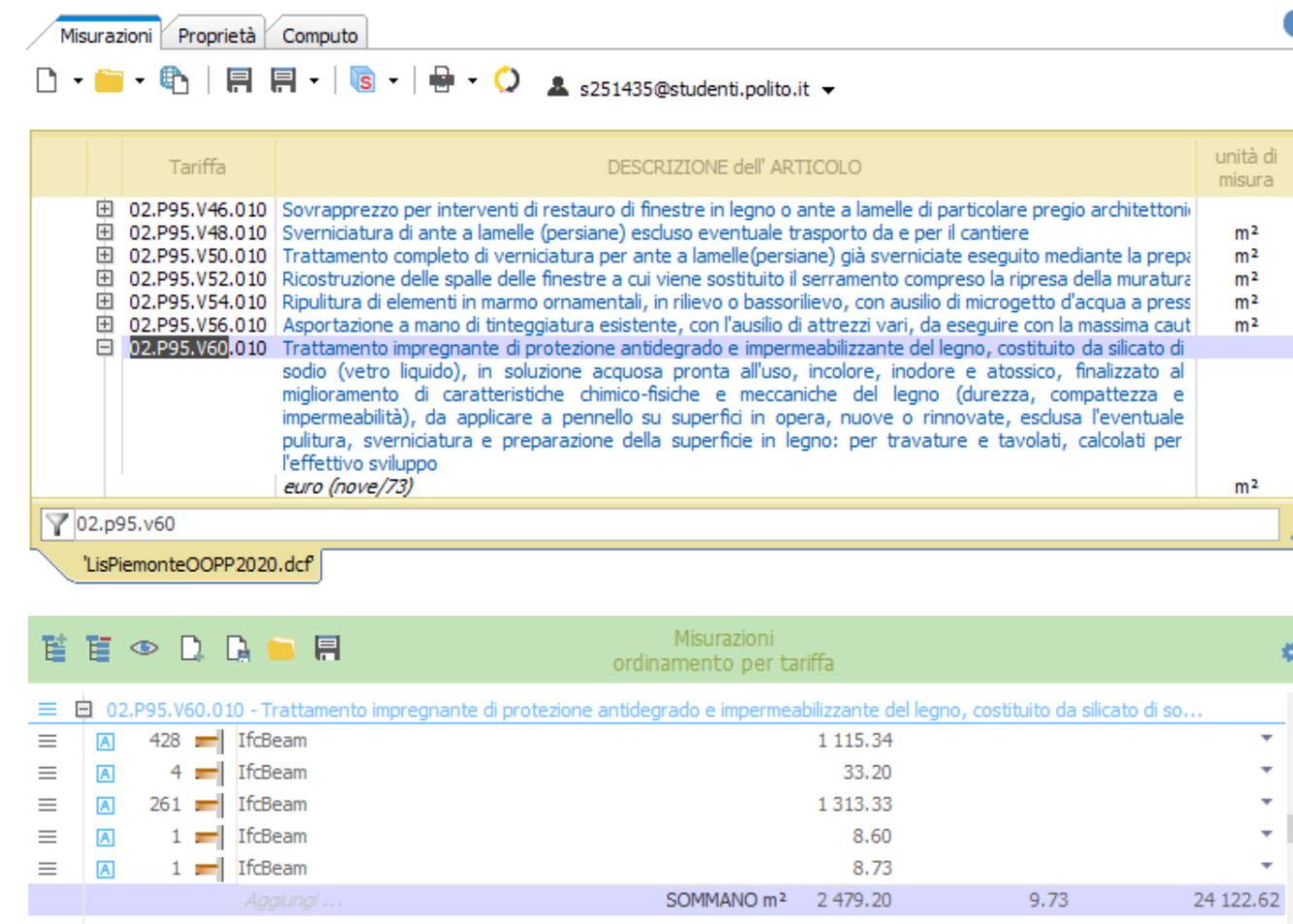


FIG. 4.6.c
Inserimento voce di prezzario e visualizzazione delle misurazioni

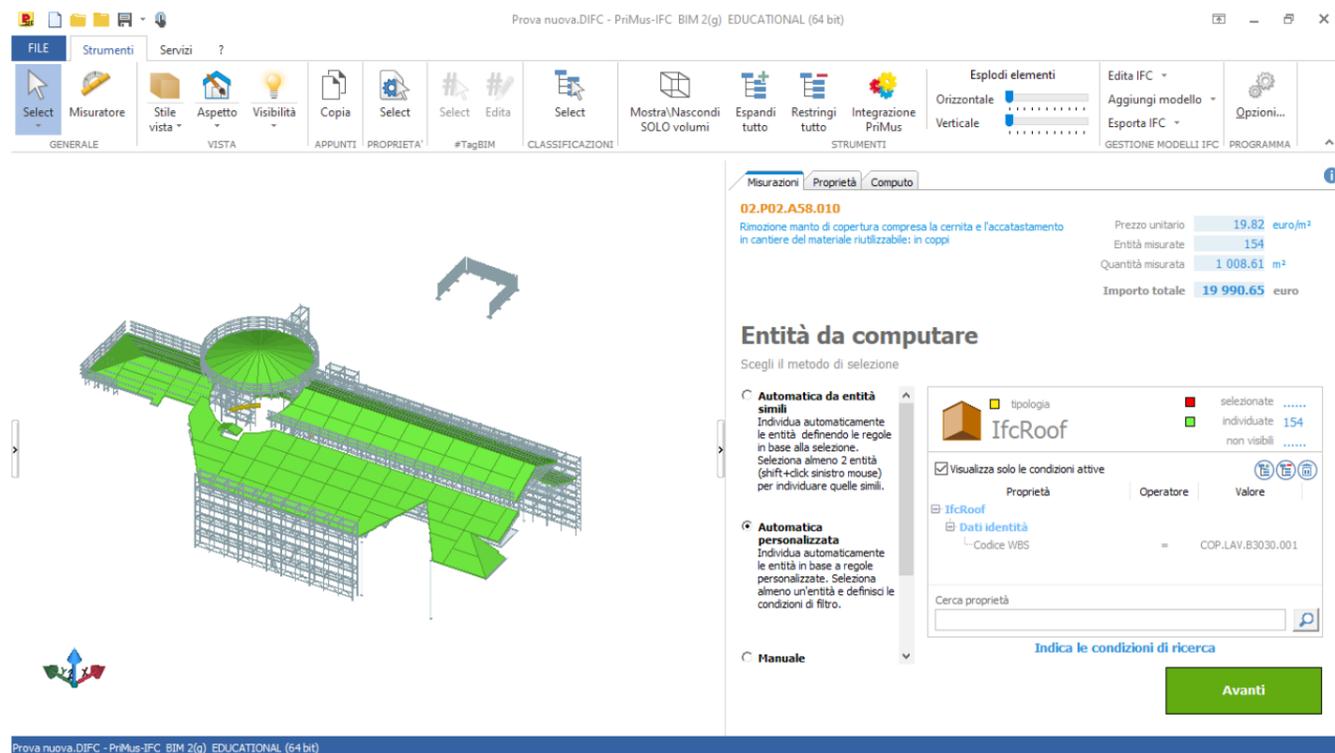


FIG. 4.6.d
Impostazione regole
di selezione per le
misurazioni

La selezione automatica delle entità è stata effettuata basandosi sui valori del "Codice WBS" (FIG 4.6.b) compilato tramite Dynamo in Revit, il quale racchiude le informazioni relative alla fase e alla tipologia di elemento tralasciando le informazioni relative alla posizione. Solo in rari casi, quali distinzione tra ponteggi a destra della chiesa e ponteggi a sinistra, e la distinzione delle capriate per distanza degli appoggi, è stato necessario definire regole ulteriori. In queste operazioni, la possibilità di duplicare la misurazione e di impostare in seguito la selezione delle entità in oggetto permette di non associare nuovamente le regole di calcolo

per i successivi gruppi di elementi.

All'interno di PriMus IFC, nelle impostazioni delle misurazioni, si possono comporre formule di calcolo basate sui parametri delle entità, sia agendo su valori testuali (vedasi per la descrizione) sia su valori numerici (per le quantità). In molti casi non è stato necessario scrivere formule complesse in quanto lunghezze, aree, volumi e numero di elementi sono le condizioni necessarie per effettuare la misurazione e sono generalmente proprietà delle entità espresse sotto forma di parametri. Per il calcolo della superficie di legno da trattare con impregnante, le travi secondarie

Nr	Tariffa	DESIGNAZIONE dei LAVORI	DIMENSIONI				Quantità	IMPORTI	
			par.ug.	lung.	larg.	H/peso		unitario [1]	TOTALE
		WBS							
		<NON assegnata>							0,00
		1 Opere a corpo							93,0%
		1.1 Opere edili							66,9%
		1.1.1 Chiusura							48,1%
		1.1.2 Lattoneria							9,5%
		1.1.3 Linea vita							5,5%
		1.1.4 Solai							3,8%
		1.2 Opere strutturali							26,0%
		1.2.1 Trattamento							18,6%
		1.2.2 Rimozione							0,8%
		1.2.3 Sostituzione							6,6%
		2 Oneri per la sicurezza							7,0%
		2.1 Opere provvisoriale							6,5%
		2.2 Misure di sicurezza contro COVID-19							0,6%
		TOTALE euro							100,0%

FIG. 4.6.e
Visualizzazione
del computo
strutturato
come WBS

hanno l'area calcolata come il quadruplo della lunghezza per la radice quadrata della superficie della sezione, in quanto non erano presenti proprietà relative ai lati, ma trattandosi di travi a sezione quadrata è stato possibile ricavarli. Le superfici delle facce non sono state considerate nel calcolo poiché poco incidenti e perché il numero di travi secondarie del modello non è lo stesso dell'edificio reale, ogni trave del modello termina ai limiti del tassello. Sono, invece, state considerate tutte le facce delle travi principali, anche se di numero differente dalla realtà, in modo da bilanciare il calcolo delle secondarie. Per le capriate, dato che il calcolo della superficie è troppo complesso per essere effettuato in PriMus IFC, il quale non presenta l'opzione di utilizzare formule trigonometriche, l'area è stata calcolata esternamente e inserita manualmente.

Il programma permette di strutturare una WBS e di associare le misurazioni alle voci

che la compongono. Questa funzionalità è stata sfruttata per suddividere in categorie le diverse lavorazioni in modo da ottenere un **riepilogo di spesa suddiviso** per le diverse tipologie. All'interno del software è possibile anche definire categorie e sottocategorie nelle quali racchiudere le lavorazioni e ottenere anche con questo metodo una visualizzazione delle spese differenziate. Non potendo esportare il computo suddiviso secondo questi criteri, non possedendo una versione completa, è risultato più utile utilizzare la WBS perché questo metodo mostra, se presenti, voci di misurazione non associate alla *Work Breakdown Structure*.

Come si evince dall'immagine (FIG 4.6.5) il costo totale del progetto ricavato utilizzando il Prezzario della Regione Piemonte 2020 è coperto per evitare discrepanze tra la ricerca e lo stato di fatto. Esso viene identificato con il 100%, di cui i costi per la sicurezza dettati dall'emergenza sanitaria sono risultati lo 0,6% dell'importo complessivo.



4.7

FIG. 4.7.a
Immagine
evocativa
comunicazione
social

Promozione del santuario

Congiuntamente con il lavoro relativo al cantiere si è proceduto con ragionamenti volti alla campagna di raccolta fondi indicata nel progetto "Santuari e Comunità" di Fondazione CRT. In principio è stato necessario individuare i possibili donatori. Attraverso il metodo del *brainstorming* sono state identificate le figure che gravitano e possono gravitare attorno al complesso del santuario. In seguito sono stati definiti i temi inerenti al complesso, per poterli associare alle figure precedentemente individuate. In questa maniera, in un primo momento, ci si è slegati dagli indici demografici che caratterizzano il *target* per approfondire questi aspetti in un secondo momento.

Attraverso l'analisi dei possibili destinatari è risultato evidente come fosse più indicato, anche a causa del momento storico che stiamo

vivendo, raggiungerli tramite la rete piuttosto che con eventi o supporti fisici. Per questo motivo si è proceduto con l'individuazione dei canali *on-line*. Privilegiando sistemi che prevedono un coinvolgimento, andando incontro al valore richiamato dal progetto di Fondazione CRT "Santuari e Comunità", la ricerca di possibili strumenti è stata effettuata nell'ambito dei *social network*. Sono state elencate le pagine *web* di Google Maps, Facebook e Instagram inerenti al santuario e sono stati riportati i dati relativi al loro seguito (FIG 4.7.b). Da ciò è risultato lampante come **Facebook** potesse essere considerato lo strumento con maggiore risonanza.



Trompone d'autore
144
Mi piace

Silenziosi Operai della Croce
1184
Mi piace

Opera Beato Luigi Novarese
1180
Mi piace

Il Trompone
681
Mi piace



Santuario
2
recensioni

CRF Mons. Luigi Novarese
25
recensioni

Silenziosi Operai della Croce
12
recensioni

Associazione SdC
3
recensioni



Trompone d'autore
30
follower

Silenziosi Operai della Croce
206
follower

FIG. 4.7.b

Schematizzazione del seguito dei profili social inerenti al complesso del Trompone

L'identificazione di Facebook come canale ci ha permesso di concentrare le forze in un'unica direzione, ma è stato necessario comprendere come questo strumento potesse essere sfruttato al meglio e come sfruttare la preesistente pagina **"Trompone d'autore"**, realizzata durante lo sviluppo della tesi "HBIM, Realtà Virtuale e Aumentata a supporto della condivisione del modello BIM Social del santuario del Trompone" di Fanceska Brukkku e Chiara Cigliutti.

In merito a questa pagina, è stato analizzato il pubblico, verificando l'origine dei *likes* e le fasce d'età degli utenti. Grazie a questa indagine si è potuto verificare come i fruitori fossero sbilanciati per quanto riguarda l'età, con una netta maggioranza di pubblico tra i 25 e 34 anni, e per quanto riguarda la provenienza, con una forte presenza nel cuneese, probabilmente conoscenti delle autrici della pagina.

PROVENIENZA DEI LIKE ALLA PAGINA "TROMPONE D'AUTORE"

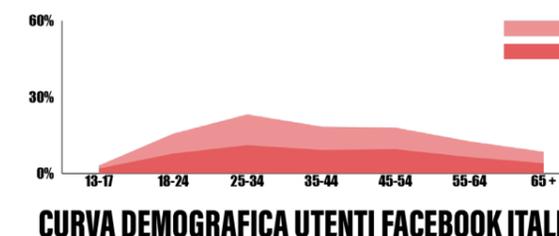
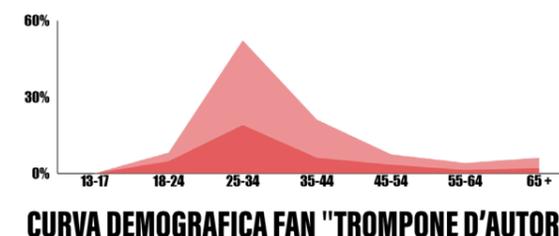
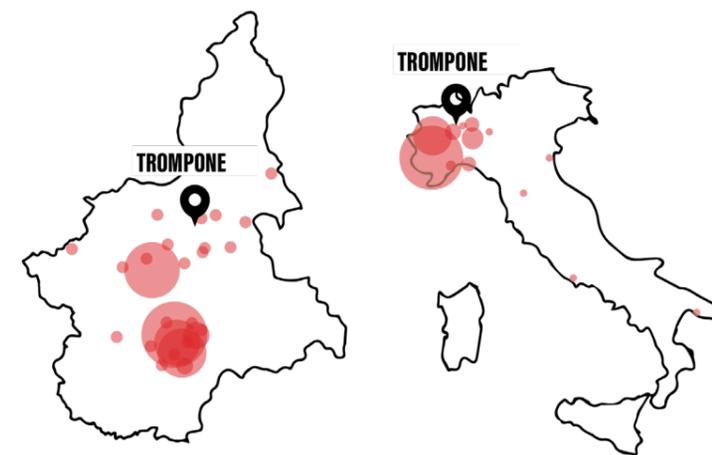


FIG. 4.7.c

Rielaborazione dei dati demografici forniti da Facebook in merito ai like della pagina Trompone d'autore

Alla luce dei dati demografici (FIG 4.7.c) è emerso che fosse necessario interagire con più persone legate alla località del Trompone e che si dovesse aumentare l'età media per poter raggiungere un maggior numero di possibili donatori. Per raggiungere questo scopo, mantenendo l'identità della pagina, legata a temi sociali, culturali e di innovazione tecnologia, sono state utilizzate delle immagini a 360° della chiesa con una breve descrizione.

L'idea è che questo tipo di post si inserisca a metà tra la categoria immagini e quella video, suscitando un maggior interesse e una maggiore interazione con il contenuto.

La risposta del primo *post* pubblicato non è stata soddisfacente perché solo il pubblico della pagina poteva accedere a questo contenuto, per cui è stato necessario ricondividerlo su gruppi dei paesi limitrofi. Questo *escamotage* ha permesso di aumentare la copertura **più del 1000%** e di ottenere interazioni con persone a cui interessa la struttura. A scopo d'indagine si è proceduto anche con la sponsorizzazione del contenuto, un servizio a pagamento offerto da Facebook per raggiungere una maggiore *audience*. Tramite la sponsorizzazione è stato possibile impostare le caratteristiche del pubblico a cui rivolgersi. Sono state selezionate persone che hanno indicato sul social la residenza in Italia, di una fascia d'età compresa tra i 35 e i 65+ (limite maggiore proposto da Facebook), senza indicazione di genere. Questo, con una spesa di 5€, ha permesso di raggiungere circa altre 3100 e di ottenere nuove registrazioni sulla pagina. Di questi 3100 è stato interessante notare come la maggior parte delle interazioni siano state ricevute da Sicilia (14,3%), Campania (10,7%) e Puglia (9,1%), mentre solo il 6,4% sia provenuto dal Piemonte. Grazie a questi esperimenti e ad accorgimenti sul tipo di contenuti e sui metodi di pubblicazione al momento la pagina è cresciuta circa del 12% con la pubblicazione di 5 contenuti e ogni post suscita un coinvolgimento almeno del 2,5% del pubblico, ben maggiore rispetto alla media (FIG 4.7d).

ENGAGEMENT POST DI PAGINE DI FACEBOOK RISPETTO AL NUMERO DI FAN NEL 2020

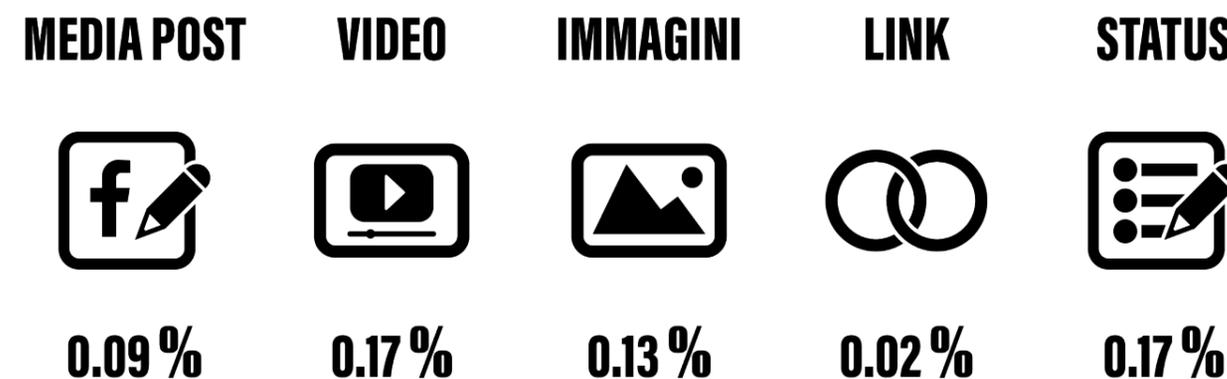


FIG. 4.7.d
Rielaborazione grafico
Engagement post facebook
rispetto al numero
di follower nel 2020.
Fonte dati We Are Social

4.7.1 Tour virtuale del santuario

Al fine della promozione del santuario si è proceduto a creare contenuti validi per esperienze di realtà virtuale. Tramite l'impiego del **software Unity**, è stato rimaneggiato il progetto di tour virtuale sviluppato da Brukku e Cigliutti durante il loro percorso di tesi. Il tour è stato progettato sia per applicazione VR, per mezzo di visori HTC VIVE, che per applicazione desktop fruibile anche via web. La distinzione tra le due modalità di fruizione, nella modifica degli elaborati ne caratterizza la funzione. La versione VR, consistendo in un'esperienza, come una performance, presenta le caratteristiche adatte ad essere veicolo di cultura e ad accogliere i presupposti per la formazione di una comunità. Per questi motivi il tour offre la possibilità di navigare all'interno del **"gemello digitale social"** del santuario (FIG 4.7.1.a). Sfruttando la presenza di

fotografie a 360 gradi è possibile visualizzare ogni particolare della struttura incluse le opere pittoriche. Oltre alle fotografie vengono fornite diverse informazioni, sia sul santuario che in merito ai progetti legati al complesso, tra le quali, all'esterno della fabbrica, sulla facciata, è possibile osservare le condizioni di degrado antecedenti all'intervento di restauro contemporaneo.

La visualizzazione del degrado avviene sia tramite le superfici modellate, che presentano una colorazione differente da quella dell'intonaco esterno della chiesa, sia per mezzo di appositi "cartelli" richiamabili tramite un clic sul tasto "informazioni" presente sulla superficie. Questi cartelli presentano informazioni in merito al tipo di degrado sotto forma di testo e di immagini. Nella versione desktop-based sono stati modificati in modo tale da accolgano un ulteriore tasto all'interno che permette, tramite link, di supportare la comunità relativa al Trompone e la campagna di raccolta fondi.



FIG. 4.7.1.a
Elio Canovi presenta il tour virtuale del Trompone

5

E

p

i

l

o

g

o

5.1 Conclusione

Come già ampiamente descritto e dimostrato nel presente lavoro di tesi, l'obiettivo perseguito durante la fase di ricerca è stato quello di esaminare e valutare la validità dell'uso del BIM, basato sull'interoperabilità dei software e sull'automazione dei processi legati al Construction Management, come metodo applicato al patrimonio culturale architettonico esistente per la progettazione della sicurezza in cantiere travolta dalla situazione emergenziale causata dal COVID-19. Pertanto, l'analisi è stata svolta servendosi del caso studio della copertura del santuario presso il complesso ospedaliero del Trompone a Moncrivello (VC). A partire da un modello digitale, l'utilizzo degli *outputs*, finalizzato allo sviluppo e alla gestione del cantiere 4D e 5D, ha permesso di analizzare ed affrontare, valutando possibili rimedi, tutte le implicazioni e restrizioni imposte

dalla pandemia, nell'ottica di tutelare la salute e la sicurezza di tutte le persone coinvolte sia all'interno che all'esterno del cantiere. Dopo una prima fase di acquisizione dati, quali le normative sopra citate, tesi, libri, articoli scientifici, ma anche interviste dirette, sopralluoghi e vari documenti relativi al cantiere reale, la seconda parte ha visto lo sviluppo di un sistema di classificazione per la codifica degli elementi e delle informazioni contenute nel modello 3D. A tal proposito è risultata importante la codifica WBS, la quale rispecchia la struttura di scomposizione definitiva del lavoro ed è uno strumento efficace per quanto riguarda la connessione tra più software. A questo punto, si è passati alla fase di creazione del cronoprogramma delle lavorazioni tramite l'utilizzo di MS Project,

il quale è servito per la definizione della sequenzialità e delle tempistiche delle lavorazioni necessarie, oltre che a ottenere un'indicazione in merito alla durata del cantiere.

La restante parte del lavoro è stata incentrata sull'analisi del BIM come metodo progettuale, andando ad argomentare gli approcci metodologici attuati e i vari sviluppi dei modelli 3D, 4D e 5D a seconda dei risultati da raggiungere. Per cui, a partire da un intenso studio e lavoro che ha comportato tempi di progettazione molti lunghi inerenti alla fase di scomposizione del progetto nonché alla tassellazione della copertura e degli elementi annessi, si è voluto applicare quanto definito a livello metodologico focalizzandosi nell'ambito dell'interoperabilità orizzontale OPEN BIM; sono stati quindi effettuati i test di importazione ed esportazione di file in formato .SPX, per quanto riguarda l'interoperabilità Revit –

Synchro, e IFC (2x3) per quanto riguarda Revit – Primus. Tali test hanno esaltato le potenzialità che la metodologia può offrire per quanto riguarda la stima dei tempi e dei costi del progetto.

Tra i prodotti finali della Tesi ne risultano due simulazioni virtuali 4D delle fasi di cantiere: una che riprenda l'intero processo di costruzione partendo dall'allestimento iniziale del cantiere, al completamento di tutte le lavorazioni in copertura, fino alla rimozione dello stesso; l'altra, che rifletta su ciò che accade durante una giornata tipo. Tale simulazione non è fine a se stessa ma è servita da strumento per l'implementazione dei tradizionali metodi di gestione dei rischi relativi alla sicurezza in cantiere e delle interferenze tra le risorse presenti, con l'obiettivo di soddisfare e risolvere i problemi legati alla presenza del COVID-19 oltre che come verifica del metodo di gestione del cantiere sviluppato.

Considerando la funzionalità principale dello strumento 4D che è quella di visionare e controllare più aspetti relativi alla gestione del cantiere e alla sua logistica, è risultato quindi molto utile per valutare in real time, cioè in modo preventivo, l'effetto delle misure imposte dalla pandemia per la salute e la sicurezza dei lavoratori. Il programma ha permesso, inoltre, di valutare a posteriori ogni possibile modifica avvenuta durante le fasi di progettazione o costruzione, offrendo la possibilità di studiare i percorsi dei mezzi di cantiere e del personale operaio (raffigurato nella tesi come delle sfere). Dunque, si è appreso come l'utilizzo di questi software BIM-oriented e le loro potenzialità forniscano ai vari professionisti tutta una serie di strumenti in grado di valutare scenari operativi di cantiere (4D) e scenari economici di spesa (5D).

Dallo studio condotto è emerso che vi sono cantieri che non subiscono sensibili ritardi a causa delle contromisure messe in atto per la lotta al COVID-19, nello specifico il distanziamento sociale.

Attraverso lo sviluppo di un modello di gestione del cantiere, che vede la suddivisione del sito in base alla tipologia e al numero di attività, rapportate al numero di operai, è stata determinata la formula:

$$1 - \sum_{i=1}^n \text{Effort delle attività}_i \times \frac{24}{\text{Ore di lavoro/giorno}} \times \pi \left(\frac{60 \text{ cm} + \text{distanziamento}}{2} \right)^2 = I [\%]$$

5.1.1 Difficoltà

la quale indica, per valori minori di 1, la possibilità di adottare il metodo sviluppato nel corso della ricerca e la remota concretizzazione dei ritardi causati dal mantenimento della distanza interpersonale. Come conseguenza, si vede quindi una casistica non considerata all'interno del Prezzario Regionale della Regione Piemonte 2020 nella quale, per la determinazione dei costi è necessario eliminare la maggiorazione del 5% per le attività con incidenza della manodopera maggiore del 50%. Relativamente al caso studio, in questo modo si ottiene una diminuzione del computo pari al 3,4% di quanto preventivato.

Inoltre per quanto riguarda la componente promozionale del lavoro di tesi sono stati ottenuti successi in merito all'ampliamento della fanbase della pagina social del Trompone che ha visto la sua crescita nel corso dell'ultimo mese nella misura del 10%. Nel mentre sono stati ottenuti riscontri positivi in merito all'efficacia di trasmissione della conoscenza e al coinvolgimento del pubblico da parte delle applicazioni sviluppate per esperienze in realtà virtuale.

La principale difficoltà riscontrata nello sviluppo della presente tesi, riguarda le caratteristiche formali e dimensionali del caso studio individuato. Il cantiere di restauro della copertura è caratterizzato da grandi superfici, all'esterno, da un numero contenuto di attività necessarie al completamento e da una quantità ridotta di operai impiegati nelle lavorazioni. Queste caratteristiche lo rendono un cantiere che, meno di altri, sortisce gli effetti negativi dal punto di vista economico e delle tempistiche, apportati dalla pandemia da COVID-19. Risulta evidente come la selezione di un caso studio configurato con ambienti ristretti e un grande numero di lavorazioni/lavoratori avrebbe potuto portare a conclusioni differenti da quelle ottenute.

Inoltre, dal punto di vista metodologico, è risultato inefficace il mero paragone tra lo

sviluppo del cantiere teorizzato nella tesi magistrale di A. Mattia con quello effettivo, data la presenza di numerose differenze tra i due, sia in merito all'organizzazione, che alle lavorazioni. Per colmare questo divario è stato necessario ideare una metodologia di gestione e realizzare un modello digitale, che potessero fungere da comparabili a quelli utilizzati nel caso reale.

Per quanto riguarda la fase creazione e modifica di contenuti volti alla promozione del Santuario sono solamente state incontrate difficoltà relative all'acquisizione dei file e all'identificazione di quelli utili allo scopo, non avendo stabilito un sistema condiviso di catalogazione.

5.1.2 Sviluppi futuri

Per ampliare l'indagine in merito alle differenze tra i cantieri in situazione ordinaria e in situazione emergenziale risulta opportuno, come indicato al capitolo "difficoltà", l'impiego di un caso studio che presenti caratteristiche maggiormente limitanti nell'attuazione delle norme di sicurezza in merito alla pandemia da COVID-19. In quest'ottica si suggerisce l'identificazione di un cantiere che presenti un considerevole numero di attività, che richieda l'impiego di diverse e, magari numerose, squadre di operai, che implichi la necessità di sviluppare differentemente i ragionamenti in merito ai flussi di percorso interni al cantiere e alle *clash detection* dinamiche. Allo scopo, risulta necessario valutare un caso che veda limitazioni più stringenti dal punto di vista dell'impianto, ad esempio con lavorazioni in ambienti chiusi e poco estesi.

B

i

b

l

i

o

g

r

a

f

i

a

Volu mi

1. Amato R., Chiappi R., *Tecniche di project management. Pianificazione e controllo dei progetti*, Franco Angeli Editore, 4° Edizione, Milano, 2000
2. Del Giudice M., *Disegno e l'ingegnere. Bim handbook for building and civil engineering students*, Torino, Levrotto e Bella Editore, 2019
3. Di Guida G., Villa V., *Il BIM. Guida completa al Building Information Modeling*, Hoepli Editore, 2016
4. Eastma C., Teicholz P., Sacks R., Liston K., Edizione italiana a cura di Di Guida G. M., Villa V., *Il BIM – Guida completa al Building Information Modeling*, Hoepli Editore, 17 febbraio 2016
5. Lo Turco M., *Il BIM e la rappresentazione infografica nel processo edilizio. Dieci anni di ricerche e applicazioni*, Aracne Editore, Roma, 2015
6. Moro A. M., *La Sicurezza nel cantiere: ruoli, responsabilità, e vigilanza*, Palermo, Dario Flaccovio Editore, 2012
7. Osello A., *Il futuro del disegno con il BIM per ingegneri e architetti*, Dario Flaccovio Editore, 2012
8. Silenziosi Operai della Croce, *La Beata Vergine Potente del Trompone*, Roma, Istituto Salesiano Pio XI, 2016

Tesi

9. Baraldi C., *Standard e procedure aperte per l'interoperabilità degli strumenti BIM: una applicazione per il complesso demaniale in piazza VIII agosto a Bologna, sede del Provveditorato Interregionale per le Opere Pubbliche Lombardia – Emilia-Romagna*, Laurea Magistrale in Building Information Modeling, 2020
10. Brukku F., Cigliutti C., *HBIM, Realtà Virtuale e Aumentata a supporto della condivisione del modello BIM Social del Santuario del Trompone*, Laurea Magistrale in Architettura Costruzione Città, Politecnico di Torino, 2019
11. Clori B. A., *Analisi del rischio e gestione delle interferenze attraverso SYNCHRO BIM Software: applicazione ad un cantiere complesso*, Laurea Magistrale in Ingegneria Edile, Politecnico di Torino, 2018
12. Dusi I., *Processo BIM e VR per l'edilizia sanitaria caso studio: centro diurno per malati di alzheimer per il complesso del Trompone*, Laurea Magistrale in Architettura per il Progetto Sostenibile, Politecnico di Torino, 2018
13. De Palma V., *La metodologia BIM per una efficiente manutenzione in sicurezza*, Laurea Magistrale in Ingegneria Edile Politecnico di Torino, 2018

Articoli

14. Falzone A., *BIM to evaluate the increasing cost for the management of construction sites with restrictions due to COVID-19: the case study of R block at Polito*, Laurea Magistrale in Architettura Costruzione Città, Politecnico di Torino, 2020
15. Fuccelli A., *Pianificazione operativa 4D del cantiere dello stadio San paolo mediante metodologia BIM*, Laurea Magistrale in Ingegneria Edile, Politecnico di Torino, 2018
16. Giovine A., *InfraBIM e Construction Management: valutazione di interoperabilità OPEN BIM*, Laurea Magistrale in Ingegneria Civile, Politecnico di Torino, 2019
17. Mattia A., *BIM per il Construction Management Il cantiere studio: la copertura del Santuario del Trompone*, Laurea Magistrale in Architettura per il Progetto Sostenibile, Politecnico di Torino, 2020
18. Montaldo F., *BIM for project management in federated models: the Trompone case study*, Laurea Magistrale in Architettura per il Progetto Sostenibile, Politecnico di Torino, 2018
19. Nicastro S., *L'integrazione dei sistemi di Building Information Modelling nei processi di conoscenza del patrimonio culturale. Premesse teoriche, criteri metodologici e l'introduzione del level of reliability*, Tesi di Dottorato di Ricerca, Sapienza Università di Roma, 2017
20. Pollara A., *Sistemi di classificazione*, Politecnico di Milano, Laurea in Ingegneria dei Sistemi Edilizi, Politecnico di Milano, 2017
21. Salcuni E., *BIM and virtuality continuum: applications of a virtual reality prototype for the safety training on construction sites*, Laurea Magistrale in Building Engineering, Politecnico di Milano, 2017
22. Solato F., *METODOLOGIA BIM PER LO SVILUPPO DI MODELLI DIGITALI IN AMBITO SANITARIO Differenti metodologie applicate alla struttura del Trompone*, Laurea Magistrale in Architettura Costruzione Città, Politecnico di Torino, 2018
23. Abanda F.H., Kamsu-Foguem B., Tah J.H.M., *BIM – New rules of measurement ontology for construction cost estimation*, Engineering Science and Technology, an International Journal, 20, pp. 443–459, 2017
24. Akponeware A. O., Adamu Z. A., *Clash Detection or Clash Avoidance? An Investigation into Coordination Problems in 3D BIM*, 16 Giugno 2017
25. Bertella A., Caputi M. Rota A, Versolato A., *Bim per professionisti e stazioni appaltanti*, Grafill S.r.l. Editore. Edizione 1 (11-2018)
26. Ciribini A. L. C., Ghelfi D., Caratozzolo G., Tagliabue L. C., Mastrolembo Ventura S., A cura di Tagliabue L. C., Mastrolembo Ventura S., *Il cantiere edile e infrastrutturale tra data analytics e internet of things*, Grafill S.r.l. Editore, Edizione 1 (02-2019)
27. Getuli V., Giusti T, Capone P., Sorbi T., Bruttini A., *A Project Framework to Introduce Virtual Reality in Construction Health and Safety*, New Frontiers of Construction Management Workshop, vol. 09 n° 13, 2018
28. Khan A., Sepasgozar S., Liu T., Yu R., *Integration of BIM and Immersive*

- Technologies for AEC: A Scientometric-SWOT Analysis and Critical Content Review*, Buildings 11, 2021
29. Klaiber M., Gartner GMBH J., Gundelfingen, *Mit BIM komplexe Fassaden planen und konstruieren. Von virtuellen 3-D-Modellen zur digitalen Plattform mit 4-D und 5-D*, Tratto dalla rivista edile tedesca "Umrisse - Zeitschrift für Baukultur", 2017
30. Ma Z., Liu Z., *BIM-Based intelligent acquisition of construction information for cost estimation of building projects*, Procedia Engineering 85. pp. 358-367. 2014
31. Olsen D., Taylor J. M., *Quantity Take-Off Using Building Information Modeling (BIM), and Its Limiting Factors*, Procedia Engineering 196 pp. 1098 – 1105, 2017
32. Pavòn R. M., Arcos Alvarez A. A., Alberti M. G., *Possibilities of BIM-FM for the Management of COVID in Public Buildings*, Sustainability 12, 2020
33. Sacks R., Brilakis I., Pikas E., Xie H.S, Girolami M., *Construction with digital twin information systems. Data-Centric Engineering*, 1 e14, 2020
34. Saheb T., Amini B., Alamdari F. K., *Quantitative analysis of the development of digital marketing field: Bibliometric analysis and network mapping. International Journal of Information Management Data Insights*, 1, 2021
35. Shen Z., Issa R.R.A, *Quantitative evaluation of the BIM assisted construction detailed cost estimates*, Electronic Journal of Information Technology in Construction, November 2009
36. Style E., *Curriculum As a Window and Mirror*, Social Science Record, Fall, 1996

Siti

37. <http://bimnote.blogspot.com/2018/11/progettare-con-qualita-in-bim.html#more> [07/03/2021]
38. <http://store.uni.com/catalogo/uni-8290-1-1981-a122-1983/> [20/03/2021]
39. <http://store.uni.com/catalogo/uni-8290-2-1983/> [20/03/2021]
40. <http://store.uni.com/catalogo/uni-8290-3-1987/> [20/03/2021]
41. <http://www.digitalmarketinglab.it/dm/strumenti-online-offline-promuovere-startup/> [24/06/2021]
42. <https://adnox.it/4d-bim-technology-software/> [22/06/2021]
43. <https://biblus.acca.it/focus/IFC-cose-e-quali-sono-i-vantaggi/> [24/06/2021]
44. [\[https://bim.acca.it/model-checking-nel-processo-bim-formati-standard-criticita-e-requisiti/#:~:text=" \[19/03/2021\]](https://bim.acca.it/model-checking-nel-processo-bim-formati-standard-criticita-e-requisiti/#:~:text=)
45. <https://bimcorner.com/everything-worth-knowing-about-the-ifc-format/> [24/06/2021]
46. <https://blog.cafebim.com/synchro-or-navisworks-for-project-management-5244bcee2ae> [26/06/2021]
47. <https://cultadv.com/> [16/06/2021]
48. <https://docs.dicatechpoliba.it/filemanager/25/a,a,%202018-19/BIM/I%20LOD%20nel%20BIM.pdf> [27/06/2021]
49. https://innovation.strabag.com/wp-content/uploads/2019/09/Topic-2-Successful-clash-management-through-visualization_REV.pdf [18/04/2021]
50. <https://pdf4pro.com/view/introduction-and-user-s-guide-omniclass-40ff74.html> [20/03/2021]

51. <https://wearesocial.com/it/> [16/06/2021]
52. <https://www.01building.it/bim/centralita-modello-federato-relazioni-attori-processo/> [21/05/2021]
53. <https://www.01building.it/bim/lod-progettazione-bim/> [23/05/2021]
54. <https://www.acca.it/bim-5d-software> [20/06/2021]
55. <https://www.allplan.com/it/> [25/06/2021]
56. <https://www.ambientesicurezzaweb.it/covid-19-e-le-attivita-di-cantiere-e-sul-campo-lesperienza-di-stantec/> [15/02/2021]
57. <https://www.bimthinkspace.com/2011/02/episode-15-initiating-a-collaborative-bim-project.html> [25/06/2021]
58. <https://www.blumatica.it/software-computo-metrico-estimativo-da-bim-ifc/> [25/06/2021]
59. <https://www.comscore.com/Insights/Press-Releases/2019/12/Comscore-Releases-2019-Global-State-of-Mobile-Report> [16/06/2021]
60. <https://www.edilizianamirial.it/software-computo-metrico-contabilita-lavori-regolo/> [25/06/2021]
61. <https://www.fondazioneart.it/attivita/arte-e-cultura/santuari-comunita.html> [25/06/2021]
62. <https://www.gsa.gov/real-estate/design-construction/3d4d-building-information-modeling/guidelines-for-bim-software/document-guides/level-of-detail> [20/06/2021]
63. <https://www.gsa.gov/real-estate/design-construction/3d4d-building-information-modeling/guidelines-for-bim-software> [26/06/2021]
64. <https://www.ibimi.it/la-norma-pas-1192-2/> [26/06/2021]
65. [Bibliografia](https://www.infobuild.it/approfondimenti/bim-rivoluzione-digitale-edilizia-building-

</div>
<div data-bbox=)

- [information-modeling/](#) [05/03/2021]
66. <https://www.insidemarketing.it/glossario/definizione/comunicazione-d-impresa/> [24/06/2021]
67. <https://www.netstrategy.it/web-marketing/strategie-di-marketing-offline-quali-sono-e-quali-adottare> [26/06/2021]
68. <https://www.puntosicuro.it/sicurezza-sul-lavoro-C-1/coronavirus-covid19-C-131/il-nuovo-protocollo-per-incrementare-le-misure-di-sicurezza-nei-cantieri-AR-20042/> [15/02/2021]
69. <https://www.soiel.it/news/dettaglio/bim-strumento-internazionalizzazione/#> [21/03/2021]
70. <https://www.soiel.it/news/dettaglio/bim-strumento-internazionalizzazione/#> [25/06/2021]
71. <https://www.teamsystem.com/construction/cpm> [25/06/2021]
72. <https://www.thenbs.com/knowledge/what-is-uniclass-2015> [20/03/2021]
73. <https://blog.archicad.it/bim/tutto-sulla-iso-19650-concetti-e-principi> [25/06/2021]
74. <https://blog.archicad.it/bim/tutto-sulla-iso-19650-consegna-dei-cespiti-immobili> [25/06/2021]
75. <https://www.ingenio-web.it/26765-standard-bim-il-mondo-dopo-la-iso-19650> [25/06/2021]
76. <http://practicalbim.blogspot.com/2013/03/what-is-this-thing-called-lod.html> [24/06/2021]
77. <https://www.shelidon.it/?p=3606> [05/07/21]

Normative

78. Decreto del Ministero dei Trasporti e delle Infrastrutture, 1 dicembre 2017, n. 560
79. Deliberazione della Giunta Regionale 8 maggio 2020, n. 11-1330
80. UNI 11337:2017
81. Prezzario della Regione Piemonte 2020
82. Protocollo condiviso di regolazione delle misure per il contrasto e il contenimento della diffusione del virus Covid-19 nei cantieri edili, 17 maggio 2020

Altre fonti

83. PAVAN A., Digitalizzazione del settore costruzioni: UNI11337:2009-2018, Gli standard per la collaborazione di filiera, Politecnico di Milano, 2018 [06/07/21]

F

O

n

t

i

F

i

g

u

r

e



Fonti

- 1.1.a <https://www.bimspot.io/blogs/how-does-ifc-work>
- 1.1.2.a <http://bimnote.blogspot.com/2018/11/progettare-con-qualita-in-bim.html>
- 1.1.3.a <https://bimcorner.com/everything-worth-knowing-about-the-ifc-format/>
- 1.1.4.a <https://www.gsa.gov/real-estate/design-construction/3d4d-building-information-modeling/guidelines-for-bim-software/document-guides/level-of-detail>
- 1.1.4.b <https://www.gsa.gov/real-estate/design-construction/3d4d-building-information-modeling/guidelines-for-bim-software/document-guides/level-of-detail>
- 1.1.4.c <https://www.gsa.gov/real-estate/design-construction/3d4d-building-information-modeling/guidelines-for-bim-software/document-guides/level-of-detail>
- 1.1.4.d <https://www.gsa.gov/real-estate/design-construction/3d4d-building-information-modeling/guidelines-for-bim-software/document-guides/level-of-detail>
- 1.1.4.e <https://www.gsa.gov/real-estate/design-construction/3d4d-building-information-modeling/guidelines-for-bim-software/document-guides/level-of-detail>
- 1.1.4.f Norma UNI 11337-4:2017
- 1.1.4.g De Palma V., La metodologia BIM per una efficiente manutenzione in sicurezza, Corso di Laurea Magistrale in Ingegneria Edile Politecnico di Torino. 2018
- 1.1.6.a <https://docs.dicatechpoliba.it/filemanager/25/a,a,%202018-19/BIM/BIM%20Dimension.pdf>
- 1.2.a <https://www.vistra.com/insights/construction-management-start-finish>
- 1.2.2.a <https://blog.cafebim.com/synchro-or-navisworks-for-project-management-5244bcee2ae>
- 1.3.a <https://www.gbpizs.gov.pl/aktualnosci1234/attachment/katalog/>
- 1.3.1.a Norma UNI 8290:1981
- 1.3.1.b Norma UNI 8290:1981
- 1.3.6.a Tabella autoprodotta
- 1.4.a <https://www.dirittiadiritto.com/apologia-di-delitti-articolo-414-comma-3-c-p/>
- 1.4.b Invernizzi E., La comunicazione organizzativa. Teorie, modelli e metodi, Giuffr  Editore, Milano, 2000
- 1.4.c Immagine autoprodotta, fonte dati [47,51]
- 1.4.d Immagine autoprodotta, fonte dati [47,51]
- 1.4.1.a <https://www.siamvr.com/wp-content/uploads/2019/10/extended-reality-xr.png>
- 1.4.1.b Rielaborazione schema, fonte dati [28]
- 1.4.1.c <https://en.wikipedia.org/wiki/VirtuSphere#/media/File:Virtusphere.jpg>
- 1.4.1.d <https://www.evl.uic.edu/research/2016>

- 1.4.1.e https://www.researchgate.net/figure/Shows-a-picture-of-the-virtual-ward-area-to-be-used-in-relation-to-developing-basic_fig3_265075936
- 1.4.1.f <https://www.tecnoandroid.it/2020/04/30/pokemon-go-ora-il-tuo-buddy-raccogliera-le-ricompense-per-te-712754>
- 1.4.1.g http://www.sjmtech.net/portfolio/oil_land_rig/
- 2.1.a <https://mapio.net/images-p/67775135.jpg>
- 2.1.1.a https://4.bp.blogspot.com/-FxJtfH5iNB8/W8uAD6G0JyI/AAAAAAAAAYQk/Ki_8GHrWpuQ0-rfsrFwrLN9BaGpZJncZgCLcBGAs/s1600/Moncrivello%2B%2528VC%2529%2B-%2BBeata%2BVergine%2Bdel%2BTrompone%2B2.jpg
- 2.1.2.a <https://mapio.net/pic/p-67775124/>
- 2.1.3.a https://www.cittaecattedrali.it/system/media_images/figures/000/002/466/large/DSC_2936.jpg?1427205617
- 2.1.6.a <http://www.accolti.it/wp-content/uploads/2018/08/DSCF8541.jpg>
- 2.1.7.a <http://www.trompone.it/ulteriori-posti-letto-per-malati-covid-al-crrf-mons-luigi-novarese/#prettyPhoto>
- 2.1.7.b Fotografia di Silvia Birolini
- 2.2.a Fotografia dell'architetto Alice Colombo
- 2.3.a Fotografia dell'architetto Alice Colombo
- 2.3.2.a Fotografia dell'architetto Alice Colombo
- 3.1.a <https://blog.archicad.it/bim/bim-che-cosa-chi-lo-usa>
- 3.1.b <https://01building.it/bim/>
- 3.2.a <https://inno3.it/2020/12/09/mastercard-economia-digitale-come-si-muove-il-mondo/>

- 3.2.b Schema autoprodotta
- 3.3.a <https://www.pbctoday.co.uk/news/planning-construction-news/costain-digital-site-diary/51134/>
- 3.3.b Screenshot autoprodotta
- 3.3.c Schema autoprodotta
- 3.3.d Screenshot autoprodotta
- 3.3.1.a Screenshot autoprodotta
- 3.3.1.b Screenshot autoprodotta
- 3.3.1.c Screenshot autoprodotta
- 3.3.1.d Screenshot autoprodotta
- 3.4.a <https://sciencecue.it/zodiac-serial-killer-crittografia/24054/>.
- 3.4.b Tabella autoprodotta
- 3.4.2.a Screenshot autoprodotta
- 3.4.2.b Screenshot autoprodotta
- 3.4.2.c Screenshot autoprodotta
- 3.5.a <https://www.digitalconstructionworks.com/digital-construction-integrator/>
- 3.6.a <https://www.deviantart.com/ej-design/art/Virtual-Insanity-105497123>
- 3.6.1.a Screenshot autoprodotta
- 3.6.2.a Screenshot autoprodotta
- 3.6.3.a Screenshot autoprodotta
- 3.6.4.a Screenshot autoprodotta

3.6.5.a Screenshot autoprodotta

4.1.a <http://elementsglobe.com/uncategorized/the-10-minute-rule-for-business-information-modelling-bim-what-is-it-and-what-part/>

4.1.1.a Screenshot autoprodotta

4.1.1.b Screenshot autoprodotta

4.1.1.c Screenshot autoprodotta

4.1.2.a Screenshot autoprodotta

4.1.3.a Screenshot autoprodotta

4.1.3.b Screenshot autoprodotta

4.2.a https://it.wikiquote.org/wiki/Matrix_Revolutions

4.2.1.a Schema autoprodotta

4.2.1.b Schema autoprodotta

4.2.1.c Schema autoprodotta

4.2.1.d Screenshot autoprodotta

4.2.1.e Screenshot autoprodotta

4.2.2.a Screenshot autoprodotta

4.2.2.b Screenshot autoprodotta

4.2.4a Screenshot autoprodotta

4.2.5.a Screenshot autoprodotta

4.2.6.a Screenshot autoprodotta

4.3.a <https://in.pinterest.com/pin/645281452847849783/>

4.3.1.a Tabelle autoprodotta

4.3.1.b Screenshot autoprodotta

4.4.a <https://wallpapersafari.com/w/GefbNz>

4.4.b Screenshot autoprodotta

4.4.c Screenshot autoprodotta

4.5.a <https://www.assystem.com/en/projects/bim-4d-to-secure-the-construction-schedules-of-iter/>

4.5.1.a Screenshot autoprodotta

4.5.1.b Screenshot autoprodotta

4.5.1.c Screenshot autoprodotta

4.5.2.a Screenshot autoprodotta

4.5.3.a Screenshot autoprodotta

4.5.4.a Screenshot autoprodotta

4.5.4.b Screenshot autoprodotta

4.5.5.a Screenshot autoprodotta

4.5.6.a Screenshot autoprodotta

4.5.6.b Screenshot autoprodotta

4.5.7.a Screenshot autoprodotta

4.6.a <https://www.futurelearn.com/courses/introduction-to-financial-management-in-construction-and-basic-accounting-conventions>

4.6.b Screenshot autoprodotta

4.6.c Screenshot autoprodotta

- 4.6.d Screenshot autoprodotta
- 4.6.e Screenshot autoprodotta
- 4.7.a <https://www.inmorocco.com/fr/5-raisons-pour-engager-un-social-media-manager/108>
- 4.7.b Schema autoprodotta, fonti www.facebook.it, www.google.com, www.instagram.com
- 4.7.c Schema autoprodotta, fonte www.facebook.it
- 4.7.d Schema autoprodotta, fonte <https://wearesocial.com/it/>
- 4.7.1.a Fotografia di Matteo Del Giudice

Ringraziamenti (Elio)

I ringraziamenti non bastano mai, sono solo parole.

In questo ho avuto la fortuna di essere sempre accompagnato.

Voglio dedicare tutto questo alle persone che mi sono state vicino:

Per la realizzazione di questo progetto, per il supporto, le attenzioni e la disponibilità il Drawing To Future - santo Matteo - e le splendide persone che ho incontrato al Trompone.

Per come sono arrivato qui, ringrazio in primis i miei genitori, le parole non servono.

Il Tom, il fratello che vanto di avere, l'antipodo della Pina.

I Temibili di via Lamaramora con il concorso super bomber.

I ragazzi di Oleggio, estesi, si intende. Una seconda famiglia.

Silvia, che da una laurea ad un'altra mi ha cambiato la vita.

I ragazzi di Granada, per come ogni giorno fosse migliore del precedente.

Infine un pensiero va a Trorino, la città che mi ha accolto e cresciuto.



Ringraziamenti (Antonio)

Per la grande disponibilità e cortesia dimostratami, e per tutto l'aiuto fornito durante la stesura di questa tesi, desidero ringraziare la professoressa Anna Osello, l'Ing. Fabio Manzone e Matteo, santo Matteo! Un sentito ringraziamento va a tutta la mia famiglia:

Ai miei genitori, Tommaso e Ada, che ci sono sempre stati dandomi tutto il loro sostegno e tutta la loro forza per il raggiungimento dei miei obiettivi; per tutti gli sforzi ed i sacrifici compiuti durante questo percorso. Non smetterò mai di ringraziarvi.

Ai miei due fratelli, Serena e Davide, le mie due colonne portanti; per la loro purezza, per la stima riservatami, per il sostegno e i consigli dispensati nei momenti più difficili. Fiero di voi.

Ai miei angeli custodi, che mi sono accanto ogni giorno, ogni momento.

Ai miei nonni, per l'amore che mi hanno da sempre saputo donare e per l'appoggio che non mi hanno mai fatto mancare. Vi devo tutto.

A tutti i miei amici, quelli di sempre e quelli conosciuti durante questi ultimi anni, per il supporto e la condivisione delle mie scelte, per il rispetto ed apprezzamento. Grazie a loro, per essere quello che sono, una seconda famiglia.

Un ringraziamento speciale va a Mino, un grande amico, con il quale ho condiviso

quasi tutta l'esperienza universitaria, nella quale è sempre più diventato il punto di riferimento, di supporto e di confronto; ma soprattutto, la persona che più di tutte è stata capace di capirmi e di sostenermi nei momenti difficili.

Un enorme grazie a Monica, che da 10 mesi a questa parte c'è sempre stata, e giorno dopo giorno mi ha cambiato la vita.

Grazie a tutti.



Politecnico di Torino
Corso di Laurea Magistrale in Architettura
Costruzione e Città
2021

09